

目 錄

第一章 前言

§1-1 計畫背景	1
§1-2 工作內容	3
§1-3 經費分析	3
§1-4 工作時程	4
§1-5 作業流程	4
§1-6 繳交成果	6

第二章 規劃準備

§2-1 觀測點位資料蒐集	7
§2-2 工作人員編組	7
§2-3 器材設備準備	9
§2-4 品質管制與檢核	10
§2-4-1 儀器設備檢校	10
§2-4-2 品質計畫擬定	11
§2-4-3 行前教育訓練	12

第三章 工作執行情形

§3-1 觀測點位清理結果	13
§3-2 觀測網形規劃	25
§3-3 外業觀測	26
§3-3-1 觀測作業程序	26
§3-3-2 觀測作業規範	26
§3-3-3 外業觀測成果	29
§3-3-4 測站重覆性分析	34

目 錄

第四章 觀測資料處理與基線計算

§4-1	觀測資料處理	35
§4-2	相關資料蒐集	37
§4-3	天線高化算	38
§4-4	基線計算之方法	40
§4-5	GPSurvey +Turbo-NET 解算方法	41
§4-5-1	GPSurvey V2.35 版解算流程	41
§4-5-2	Turbo-NET 單一時段網形平差	43
§4-5-3	基線解算成果	45
§4-6	Bernese V4.2 版解算方法	48
§4-6-1	Bernese V4.2 版解算流程	48
§4-6-2	24 小時聯測網解算成果	50

第五章 最小約制平差

§5-1	最小約制平差的方法	53
§5-1-1	最小約制平差流程	53
§5-1-2	整體網形初步平差	54
§5-1-3	各區約制點的選取原則	55
§5-2	基線重覆性分析	64
§5-3	閉合差分析	73
§5-4	最小約制平差成果	84
§5-4-1	最小約制平差成果統計	84
§5-4-2	基線精度分析	85

目 錄

第六章 TWD97 坐標平差

§6-1 已知點變動分析	89
§6-1-1 測區板塊運動的影響	89
§6-1-2 已知點坐標較差分析	91
§6-2 TWD97 坐標系統	100
§6-3 TWD97 坐標平差策略	101
§6-4 TWD97 坐標平差流程	102
§6-5 TWD97 坐標平差方法	103
§6-6 TWD97 坐標平差成果精度檢核	104
§6-7 TWD97 坐標平差成果統計	108
§6-7-1 平差成果統計	108
§6-7-2 未固定已知點分析	109

第七章 結論與建議

§7-1 結論	111
§7-2 討論與建議	112

參考文獻	113
------	-----

附件一 最小約制平差後已知點坐標較差表	114
---------------------	-----

附件二 審查會議結論辦理情形	124
----------------	-----

圖目錄

圖 1-1	衛星定位測量工作計畫經費分配圖	3
圖 1-2	衛星定位測量作業流程圖	5
圖 2-1	作業人員組織架構圖	8
圖 2-2	光學強制對心校準器	10
圖 2-3	工程品質管制流程圖	11
圖 2-4	行前教育訓練相片	12
圖 3-1	澎湖本島點位分布圖	14
圖 3-2	七美點位分布圖	15
圖 3-3	望安點位分布圖	16
圖 3-4	大金門點位分布圖	17
圖 3-5	小金門點位分布圖	18
圖 3-6	南竿點位分布圖	19
圖 3-7	北竿點位分布圖	20
圖 3-8	綠島點位分布圖	21
圖 3-9	蘭嶼點位分布圖	22
圖 3-10	小琉球點位分布圖	23
圖 3-11	損毀點位相片圖	24
圖 3-12	澎湖本島實際觀測網形圖	30
圖 3-13	七美實際觀測網形圖	30
圖 3-14	望安實際觀測網形圖	31
圖 3-15	金門（大金門、小金門）實際觀測網形圖	31
圖 3-16	馬祖（南竿、北竿）實際觀測網形圖	32
圖 3-17	綠島實際觀測網形圖	32
圖 3-18	蘭嶼實際觀測網形圖	33
圖 3-19	小琉球實際觀測網形圖	33
圖 4-1	觀測資料處理流程圖	36
圖 4-2	天線盤量度示意圖	38

圖 目 錄

圖 4-3	本計畫使用之天線盤相片圖	39
圖 4-4	GPSurvey V2.35 版基線解算流程圖	42
圖 4-5	TurboNET 單一時段網形平差作業流程圖	44
圖 4-6	Bernese V4.2 版計算流程圖	49
圖 5-1	各區最小約制平差約制點位一覽表	55
圖 5-2	約制馬祖衛星追縱站後澎湖已知點坐標水平分量較差圖	56
圖 5-3	約制馬祖衛星追縱站後澎湖已知點坐標垂直分量較差圖	56
圖 5-4	約制馬祖衛星追縱站後七美已知點坐標水平分量較差圖	57
圖 5-5	約制馬祖衛星追縱站後七美已知點坐標垂直分量較差圖	57
圖 5-6	約制馬祖衛星追縱站後望安已知點坐標水平分量較差圖	58
圖 5-7	約制馬祖衛星追縱站後望安已知點坐標垂直分量較差圖	58
圖 5-8	約制馬祖衛星追縱站後金門已知點坐標水平分量較差圖	59
圖 5-9	約制馬祖衛星追縱站後金門已知點坐標垂直分量較差圖	59
圖 5-10	約制馬祖衛星追縱站後馬祖已知點坐標水平分量較差圖	60
圖 5-11	約制馬祖衛星追縱站後馬祖已知點坐標垂直分量較差圖	60
圖 5-12	約制馬祖衛星追縱站後綠島已知點坐標水平分量較差圖	61
圖 5-13	約制馬祖衛星追縱站後綠島已知點坐標水垂直量較差圖	61
圖 5-14	約制馬祖衛星追縱站後蘭嶼已知點坐標水平分量較差圖	62
圖 5-15	約制馬祖衛星追縱站後蘭嶼已知點坐標垂直分量較差圖	62
圖 5-16	約制馬祖衛星追縱站後小琉球已知點坐標水平分量較差圖	63
圖 5-17	約制馬祖衛星追縱站後小琉球已知點坐標垂直分量較差圖	63
圖 5-18	澎湖重覆觀測基線水平分量較差分布圖	65
圖 5-19	澎湖重覆觀測基線垂直分量較差分布圖	65
圖 5-20	七美重覆觀測基線水平分量較差分布圖	66
圖 5-21	七美重覆觀測基線垂直分量較差分布圖	66
圖 5-22	望安重覆觀測基線水平分量較差分布圖	67
圖 5-23	望安重覆觀測基線垂直分量較差分布圖	67

圖目錄

圖 5-24	金門重覆觀測基線水平分量較差分布圖	68
圖 5-25	金門重覆觀測基線垂直分量較差分布圖	68
圖 5-26	馬祖重覆觀測基線水平分量較差分布圖	69
圖 5-27	馬祖重覆觀測基線垂直分量較差分布圖	69
圖 5-28	綠島重覆觀測基線水平分量較差分布圖	70
圖 5-29	綠島重覆觀測基線垂直分量較差分布圖	70
圖 5-30	蘭嶼重覆觀測基線水平分量較差分布圖	71
圖 5-31	蘭嶼重覆觀測基線垂直分量較差分布圖	71
圖 5-32	小琉球重覆觀測基線水平分量較差分布圖	72
圖 5-33	小琉球重覆觀測基線垂直分量較差分布圖	72
圖 5-34	澎湖閉合差分析 dX 方向差值分布圖	74
圖 5-35	澎湖閉合差分析 dY 方向差值分布圖	74
圖 5-36	澎湖閉合差分析 dZ 方向差值分布圖	74
圖 5-37	澎湖閉合差分析 dX 對閉合圈總邊長比數分布圖	75
圖 5-38	澎湖閉合差分析 dY 對閉合圈總邊長比數分布圖	75
圖 5-39	澎湖閉合差分析 dZ 對閉合圈總邊長比數分布圖	75
圖 5-40	望安閉合差分析 dX 方向差值分布圖	76
圖 5-41	望安閉合差分析 dY 方向差值分布圖	76
圖 5-42	望安閉合差分析 dZ 方向差值分布圖	76
圖 5-43	望安閉合差分析 dX 對閉合圈總邊長比數分布圖	77
圖 5-44	望安閉合差分析 dY 對閉合圈總邊長比數分布圖	77
圖 5-45	望安閉合差分析 dZ 對閉合圈總邊長比數分布圖	77
圖 5-46	金門閉合差分析 dX 方向差值分布圖	78
圖 5-47	金門閉合差分析 dY 方向差值分布圖	78
圖 5-48	金門閉合差分析 dZ 方向差值分布圖	78
圖 5-49	金門閉合差分析 dX 對閉合圈總邊長比數分布圖	79
圖 5-50	金門閉合差分析 dY 對閉合圈總邊長比數分布圖	79

圖目錄

圖 5-51	金門閉合差分析 dZ 對閉合圈總邊長比數分布圖	79
圖 5-52	馬祖閉合差分析 dX 方向差值分布圖	80
圖 5-53	馬祖閉合差分析 dY 方向差值分布圖	80
圖 5-54	馬祖閉合差分析 dZ 方向差值分布圖	80
圖 5-55	馬祖閉合差分析 dX 對閉合圈總邊長比數分布圖	81
圖 5-56	馬祖閉合差分析 dY 對閉合圈總邊長比數分布圖	81
圖 5-57	馬祖閉合差分析 dZ 對閉合圈總邊長比數分布圖	81
圖 5-58	小琉球閉合差分析 dX 方向差值分布圖	82
圖 5-59	小琉球閉合差分析 dY 方向差值分布圖	82
圖 5-60	小琉球閉合差分析 dZ 方向差值分布圖	82
圖 5-61	小琉球閉合差分析 dX 對閉合圈總邊長比數分布圖	83
圖 5-62	小琉球閉合差分析 dY 對閉合圈總邊長比數分布圖	83
圖 5-63	小琉球閉合差分析 dZ 對閉合圈總邊長比數分布圖	83
圖 5-64	澎湖實測與平差後基線長較差分布圖	86
圖 5-65	七美實測與平差後基線長較差分布圖	86
圖 5-66	望安實測與平差後基線長較差分布圖	86
圖 5-67	金門實測與平差後基線長較差分布圖	87
圖 5-68	馬祖實測與平差後基線長較差分布圖	87
圖 5-69	綠島實測與平差後基線長較差分布圖	87
圖 5-70	蘭嶼實測與平差後基線長較差分布圖	88
圖 5-71	小琉球實測與平差後基線長較差分布圖	88
圖 6-1	GPS 連續觀測計算台灣地區速度量	90
圖 6-2	澎湖已知點坐標水平分量較差圖	92
圖 6-3	澎湖已知點坐標垂直分量較差圖	92
圖 6-4	七美已知點坐標水平分量較差圖	93
圖 6-5	七美已知點坐標垂直分量較差圖	93
圖 6-6	望安已知點坐標水平分量較差圖	94

圖目錄

圖 6-7	望安已知點坐標垂直分量較差圖	94
圖 6-8	金門已知點坐標水平分量較差圖	95
圖 6-9	金門已知點坐標垂直分量較差圖	95
圖 6-10	馬祖已知點坐標水平分量較差圖	96
圖 6-11	馬祖已知點坐標垂直分量較差圖	96
圖 6-12	綠島已知點坐標水平分量較差圖	97
圖 6-13	綠島已知點坐標垂直分量較差圖	97
圖 6-14	蘭嶼已知點坐標水平分量較差圖	98
圖 6-15	蘭嶼已知點坐標垂直分量較差圖	98
圖 6-16	小琉球已知點坐標水平分量較差圖	99
圖 6-17	小琉球已知點坐標垂直分量較差圖	99
圖 6-18	TWD97 坐標平差流程圖	102
圖 6-19	澎湖實測與 TWD97 坐標平差後基線長較差分布圖	105
圖 6-20	七美實測與 TWD97 坐標平差後基線長較差分布圖	105
圖 6-21	望安實測與 TWD97 坐標平差後基線長較差分布圖	105
圖 6-22	金門實測與 TWD97 坐標平差後基線長較差分布圖	106
圖 6-23	馬祖實測與 TWD97 坐標平差後基線長較差分布圖	106
圖 6-24	綠島實測與 TWD97 坐標平差後基線長較差分布圖	106
圖 6-25	蘭嶼實測與 TWD97 坐標平差後基線長較差分布圖	107
圖 6-26	小琉球實測與 TWD97 坐標平差後基線長較差分布圖	107

表 目 錄

表 1-1	衛星定位測量預定與實際工作進度表	4
表 2-1	儀器編組一覽表	9
表 2-2	行前訓練課程表	12
表 3-1	澎湖本島點位清理成果統計表	14
表 3-2	七美點位清理成果統計表	15
表 3-3	望安點位清理成果統計表	16
表 3-4	大金門點位清理成果統計表	17
表 3-5	小金門點位清理成果統計表	18
表 3-6	南竿點位清理成果統計表	19
表 3-7	北竿點位清理成果統計表	20
表 3-8	綠島點位清理成果統計表	21
表 3-9	蘭嶼點位清理成果統計表	22
表 3-10	小琉球點位清理成果統計表	23
表 3-11	未觀測點位一覽表	24
表 3-12	各作業區計畫觀測時段時與工作天數一覽表	25
表 3-13	一等水準點上實施衛星定位測量觀測紀錄表	27
表 3-14	各區實際觀測時段數與作業日期一覽表	29
表 3-15	測站重覆性分析一覽表	34
表 4-1	各種型式天線高化算參數一覽表	39
表 4-2	澎湖基線計算成果統計表	45
表 4-3	七美基線計算成果統計表	45
表 4-4	望安基線計算成果統計表	46
表 4-5	金門（大金門、小金門）基線計算成果統計表	46
表 4-6	馬祖（南竿、北竿）基線計算成果統計表	46
表 4-7	綠島基線計算成果統計表	47
表 4-8	蘭嶼基線計算成果統計表	47
表 4-9	小琉球基線計算成果統計表	47

表目錄

表 4-10	24 小時聯測網觀測點位一覽表	50
表 5-1	各區最小約制平差約制點位一覽表	55
表 5-2	各區重覆觀測基線統計表	64
表 5-3	各區閉合差分析成果統計表	73
表 5-4	最小約制平差成果統計表	84
表 5-5	最小約制平差後點位標準偏差統計表	85
表 6-1	TWD97 坐標平差成果統計表	108
表 6-2	未固定已知點一覽表	109

第一章 前言

§1-1 計畫背景

國家各項建設皆需仰賴高精度之國家基本控制測量系統為基礎，而一國之基本測量包括大地控制網、高程控制網、重力控制網等三大測量工作，範圍涵蓋陸域及海域。隨著科技的進步及各項建設的積極推動，各界對於基本控制點的精度要求日益提高，惟台灣位於歐亞大陸板塊及菲律賓海板塊碰撞劇烈地帶，每年地殼變動量甚大，因此為確保基本控制點（衛星控制點、高程控制點、重力點等）隨時維持在高精度狀態，提供各界使用，必須定期實施檢測、長期維護更新，保持控制點系統完整，以配合國家永續經營所需，如若不定期檢測、長期維護更新，則控制點系統將因地殼變動量累積而產生扭曲變形，進而影響下級點位及衍生圖籍產生謬誤，導致各項經濟建設規劃施行發生錯誤、地籍產權錯亂，且各單位勢必零星補設控制點，造成資源浪費，致使坐標系統紊亂，精度不一。

為有效規劃國土利用，兼顧環保與經濟發展，達到國土永續經營、建立臺灣為「綠色矽島」、「人文科技島」之目標，亟需辦理各項建設之基礎—建構陸域、海域一致的現代化完整基本控制測量系統，完成包括海域基本圖之測繪、重力控制網之建立、離島高程控制系統之建立以及大地控制網、高程控制網之維護更新等重要工作，提供各級政府施政應用，改善民間投資環境，提升國家競爭力，維護新的國家坐標系統，整合平面及高程控制點系統，作為「綠色台灣、活力台灣、速度台灣、優質台灣、魅力台灣」，國家建設五大方向施政基礎，邁向永續發展之路。

為達到上述之目標，內政部於八十七年完成台閩地區衛星控制點系統，並於九二一大地震後，費時一個月完成衛星控制點系統重測工作；高程控制網部分，先後分別進行「一等一級水準網測量工作」及「一等二級水準網測量工作」，已於九十二年建置完成，並於水準點上加測衛星定位測量及重力測量，建立本島完整嚴密之三合一的基本控制網；至於海域部分之基本測量，其中包含離島地區之高程控制系統，急待辦理以供國家建設之需。

離島地區因交通不便，建設落後，以致影響離島地區之產業發展與居民生活品質。因此政府為加強推動離島之開發建設，特頒布離島建設條例：將交通建設、民生設施列為重大建設，但離島四面臨海，其中海平面的消長，對港口建設、水利設施、船隻安全影響甚鉅。因此，離島地區亟需建立高精度之高程控制系統，以提昇居民生活品質，縮短與台灣本島之落差。因此，為離島地區建立高精度基本控制系統實為首要工作，內政部於九十二年度辦理「離島潮位站資料蒐集及分析工作」，先期建立台灣（含離島）地區的平均海水面資料，以作為離島地區高程控制系統的參考依據，並建置台灣地區（含離島）各地潮位站水準點，以作為離島潮位站設置後之連測用途；並用以連結離島地區與台灣本島之基本控制點系統，作為離島基本控制系統之基礎。

內政部土地測量局承續前述基礎，於本年度辦理「九十三年度離島一等水準點埋設及其水準、衛星定位、重力測量工作」，以便完成離島地區高精度基本控制點系統的建置，加速各項建設工程的推展及提昇其品質，期使離島建設能早日達成預定的目標。而本項工作有幸由本公司「中興測量有限公司」承攬辦理，並定於九十四年初完成相關測量工作。

本報告內容主要說明本計畫中有關衛星定位測量工作的部份，內容主要分為七個部份，第一章為前言，說明整個計畫執行的背景及內容；第二章為規劃準備，主要敘述整個計畫之執行項目與作業流程；第三章為工作執行情形，主要說明為執行本計畫各階段之工作項目，所投入的人力、設備與實際執行情形；第四章為觀測資料處理與基線計算，主要說明衛星定位測量資料處理及基線計算情形；第五章最小約制平差，主要說明最小約制平差計算之流程；第六章 TWD97 坐標平差，主要說明 TWD97 坐標平差成果計算之流程與已知點變動分析；第七章為結論與建議，為彙整本次計畫之相關成果所做的建議與討論。

§1-2 工作內容

本次執行「九十三年度離島一等水準點埋設及其水準、衛星定位、重力測量工作」計畫中衛星定位測量部份的內容主要如下：

1. 辦理地區：主要包含澎湖(本島、七美、望安)、金門(大金門、小金門)、馬祖(南竿、北竿)、綠島、蘭嶼及小琉球等合計共 10 個離島。
2. 辦理數量：
 - (1) 已知點位：計各離島地區一、二等衛星控制點及三等控制點 187 點，潮位站水準點 12 點及金門、馬祖等 2 個衛星追蹤站。
 - (2) 新設點位：計離島新設一等水準點 143 點，距水準路線 200 公尺內之舊一等水準點(以不超過 10 點為限)。
3. 工作項目：
 - (1) 清查點位。
 - (2) 外業規劃。
 - (3) 外業測量。
 - (4) 資料處理及分析。
 - (5) 衛星定位測量工作報告。
 - (6) 進度報告。

§1-3 經費分析

本次計畫衛星定位測量工作部份經費總計新台幣 1,333,565 元，按照工作項目內容實際分配，各項工作經費所佔比例如圖 1-1。

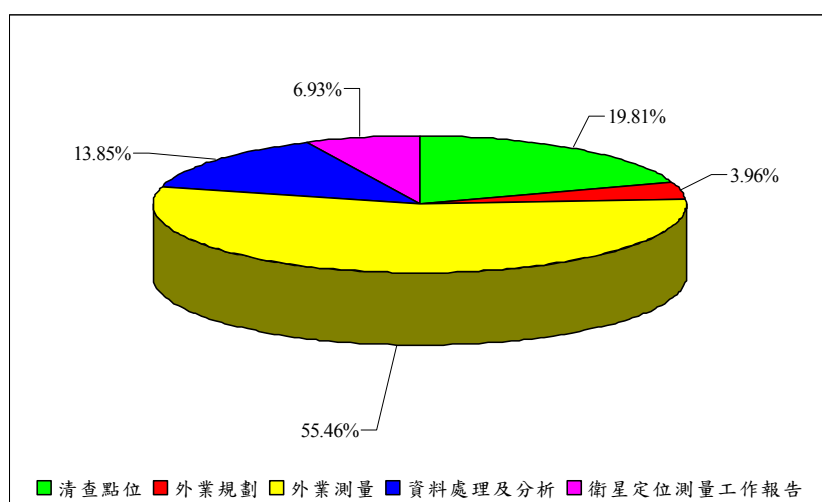


圖 1-1 衛星定位測量工作計畫經費分配圖

§1-4 工作時程

本次執行「九十三年度離島一等水準點埋設及其水準、衛星定位、重力測量工作」計畫中衛星定位測量部份，其預定與實際的工作進度如表 1-1 所示：

表 1-1 衛星定位測量預定與實際工作進度表

工作項目	93.6	93.7	93.8	93.9	93.10	93.11	93.12	94.1	94.2
點位清查									
外業規劃									
外業測量									
資料處理及分析									
衛星定位測量工作報告									

預定工作進度
 實際工作進度

§1-5 作業流程

由於本次計畫作業範圍涵蓋各離島，為因應不同點位的環境及作業方式，安排一審慎的作業流程可使工作能順利推展，並使品質及進度管制人員能適時在流程中各個查核點管控工作的推展，且確保整個計畫的品質，圖 1-2 顯示本次計畫整個工作的作業流程。

於圖 1-2 中標示為紅色字體的部分，為此次作業流程中主要的查核點，計畫主要人員及品管人員於此掌控整體作業的成效及品質，以使下一階段的工作能持續順利的進行。

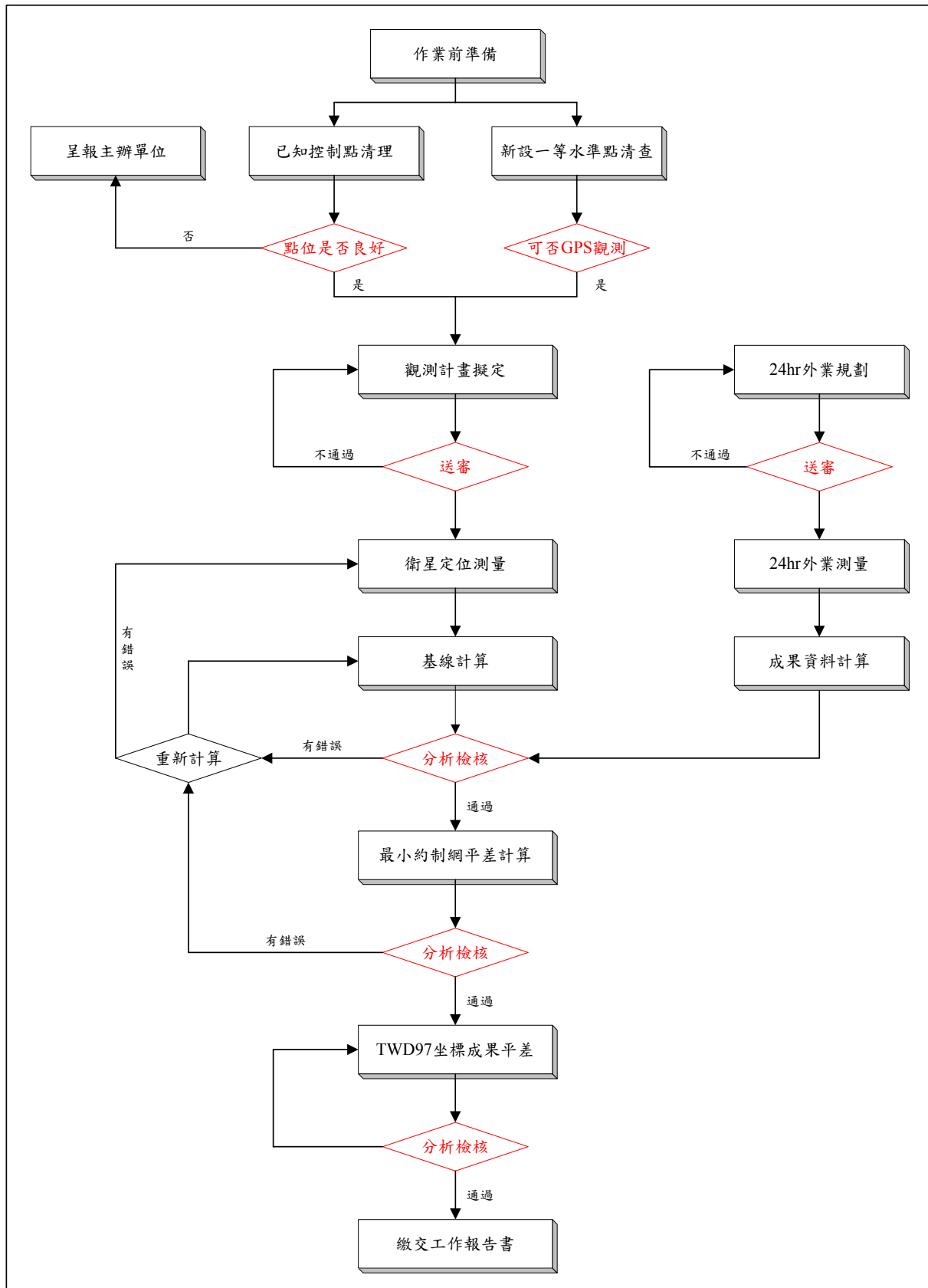


圖 1-2 衛星定位測量作業流程圖

§1-6 繳交成果

本次計畫中，衛星定位測量預定繳交相關測量成果如下：

1. 衛星定位測量觀測紀錄表（手稿）、「觀測紀錄表」書面資料各一份，電子檔二份、觀測資料檔（含 RINEX 資料）二份。
2. 衛星定位測量實際測線（段）表、光學定心基座誤差校正紀錄表書面資料及電子檔各一份。
3. 衛星定位測量基線計算成果電子檔。
4. 衛星定位測量基線計算成果統計表及基線參數設定值明細表書面資料及電子檔各一份。
5. 衛星定位測量閉合差分析、重覆性分析、已知點檢測成果之書面資料一份及電子檔二份。
6. 衛星定位測量最小約制成果及平差報告一份，電子檔二份。
7. 衛星定位測量 TWD97 加權約制平差及加權約制平差報告一份，電子檔二份；平差後成果資料庫電子檔二份。
8. 衛星定位測量工作報告初稿二十份。
9. 衛星定位測量正式報告一百份及電子檔二份。

第二章 規劃準備

§2-1 觀測點位資料蒐集

為能順利執行本次計畫，良好的規劃準備及訂定完善的施測計畫是必需的，而由於整個測區涵蓋 10 個離島，作業區域分散，作業點位種類繁複，因此在進行作業規劃前需取得相關點位資料如下：

1. 內政部布設之潮位站水準點資料。
2. 內政部已布設之離島一等水準點資料及舊一等水準點資料。
3. 內政部離島一、二等衛星控制點資料。
4. 內政部衛星追蹤站資料。
5. 內政部土地測量局離島三等控制點資料。
6. 各級三角點資料。

將上述點位資料分別展繪於適當比例尺之地形圖上，取得點之記等相關資料，並輔以其他資料（如道路交通狀況等），將點位依照區域及難易程度加以分門別類，以作業後續清查的依據。

§2-2 工作人員編組

本次計畫的作業區域涵蓋範圍甚大，又為能順利配合轄區測量隊相關作業之推行，故特設立工程聯絡組，以協調彼此相關事宜且便於聯繫。

而本次計畫各職務所負責的工作如下說明，詳細之人員安排編組如圖 2-1 所示：

1. 計畫主持人：計畫推行與成效掌控。
2. 協同主持人：協助計畫推行與成效掌控。
3. 內業資料組長：資料計算分析及工程進度安排。
4. 觀測作業組長：外業工作規劃及推行。
5. 品質管制組：工程品質監督與檢核。
6. 工程聯絡組：工程作業協調與安排。
7. 資料計算組：外業觀測資料檢核與計算。
8. 資料整理組：外業觀測資料整理。
9. 觀測作業組：執行各項外業測量工作。

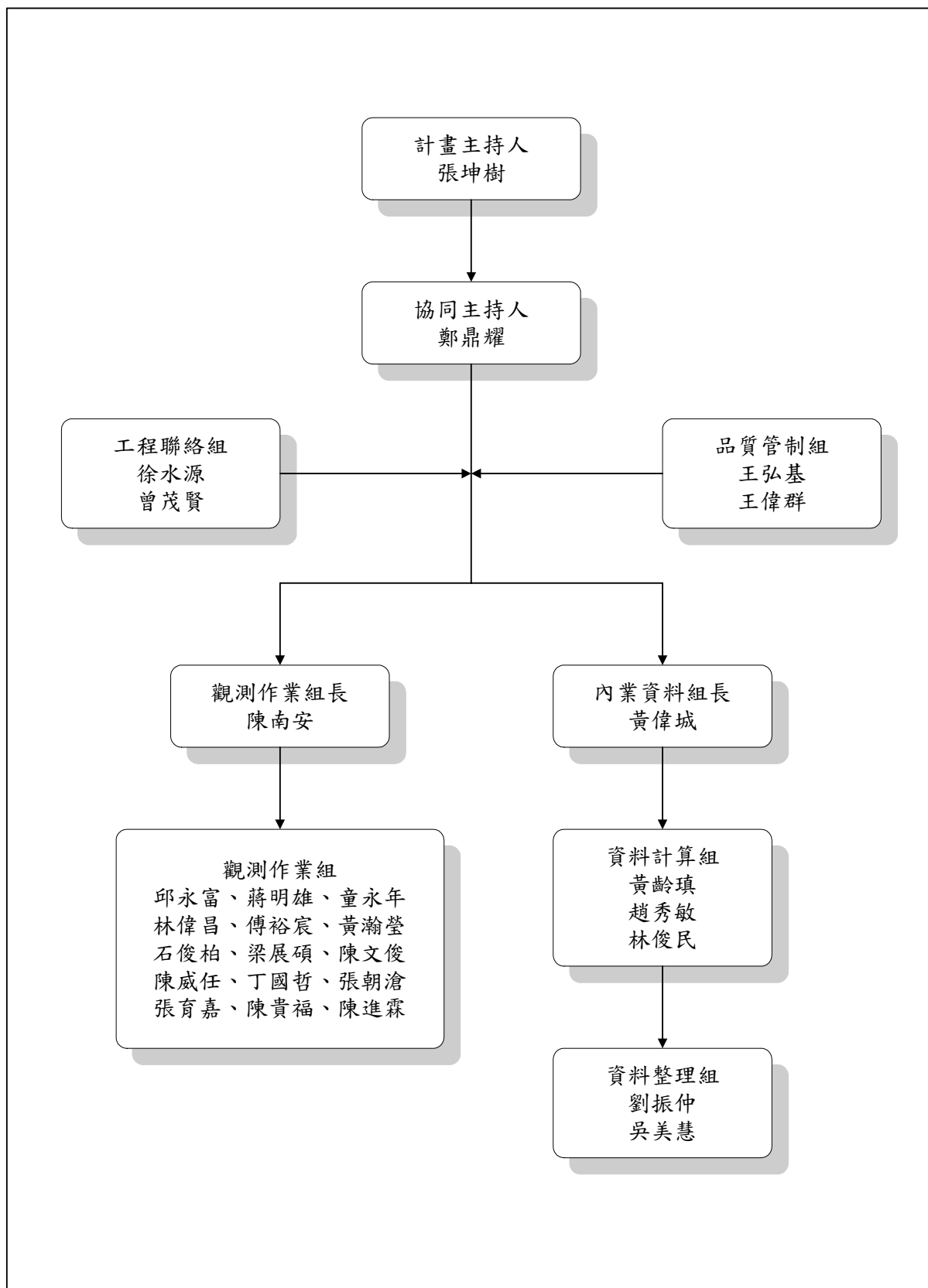


圖 2-1 作業人員組織架構圖

§2-3 器材設備準備

為確實執行本次計畫，本公司共準備 20 部相同廠牌（Trimble 4000/4700）之衛星定位接收儀，而實際執行作業時，分別採行 12~15 部衛星定位接收儀施測，餘為備用設備。而本計畫所使用之衛星定位接收儀編組情形如表 2-1。

表 2-1 儀器編組一覽表

組別	接收儀型式	接收儀序號	天線盤型式	天線盤序號
1	Trimble 4000 SSE	3304A02363	Compact L1/L2+GP	0220010040
2	Trimble 4000 SSE	3307A02558	Compact L1/L2+GP	0220068102
3	Trimble 4000 SSE	3309A02650	Micro-Centered Permanent L1/L2+GP	0220234550
4	Trimble 4000 SSE	3309A02663	Micro-Centered Permanent L1/L2+GP	0220234609
5	Trimble 4000 SSE	3325A03398	Micro-Centered L1/L2+GP	0220132753
6	Trimble 4000 SSE	3325A03403	Micro-Centered L1/L2+GP	0220173347
7	Trimble 4000 SSI	3608A14663	Micro-Centered L1/L2+GP	0220174579
8	Trimble 4000 SSI	3609A14689	Micro-Centered L1/L2+GP	0220212725
9	Trimble 4000 SSI	3616A15421	Zephyr Geodetic	11889005
10	Trimble 4000 SSI	3619A14690	Zephyr Geodetic	12281793
11	Trimble 4000 SSI	3626A16165	Zephyr Geodetic	12297667
12	Trimble 4000 SSI	4025A28538	Zephyr Geodetic	12299742
13	Trimble 4000 SSI	4025A28600	Zephyr Geodetic	12300036
14	Trimble 4000 SSI	4102A31985	Zephyr Geodetic	12325624
15	Trimble 4000 SSI	4102A31987	Zephyr Geodetic	12338118
16	Trimble 4000 SSI	3919A25535	Zephyr Geodetic	12545597
17	Trimble 4700	0220180237	Micro-Centered L1/L2+GP	0220213278
18	Trimble 4700	0220208576	Micro-Centered L1/L2+GP	0220213283
19	Trimble 4700	0220209935	Micro-Centered L1/L2+GP	0220222826
20	Trimble 4700	0220216036	Micro-Centered L1/L2+GP	0220271285

除衛星定位接收儀外，更依據實際外業需求，各組人員分別整治裝備如下：

1. 準備個人相關裝備如指北針、手電筒、砍刀、鋸子、雨衣（鞋）、登山布條等。
2. 安排分組人員所需儀器設備，如數位相機，掌上型 GPS、通訊器材等
3. 各組觀測儀器所使用之相關配件（基座、腳架等）。

§2-4 品質管制與檢核

§2-4-1 儀器設備檢校

為了使本次計畫能達到高精度、高效能之預期目標，對於使用之儀器設備自必有一套完整的檢校措施，本公司對所使用之儀器設備等一向十分重視，對於本次計畫所使用之設備，已依照規劃時程分別於3、4月間至國家實驗室進行檢校作業，而相關檢校結果也均符合儀器本身應有之精度，因此若使用於本計畫中，其測量成果應是相當精確而可靠。

而對於本計畫而言，除所使用之衛星定位接收儀經過完整的檢校外，另一個影響觀測品質的設備便是光學求心基座，本公司除於施測前依照合約規定進行基座檢校，並製作「光學定心基座誤差校正紀錄表」送 貴局備查外，並由本公司技術研發人員自行設計一套「光學強制對心校準器」(圖 2-2)，可攜行至外業工務所，並規定作業人員每日均進行基座檢校動作，確保整個計畫執行期間成果的可靠性。



圖 2-2 光學強制對心校準器

§2-4-2 品質計畫擬定

除前述對使用的設備進行嚴密的檢校外，計畫執行期間對工程品質的監控更是重要，而本計畫中主要設立品質管制組來進行品質管控，而品質管制組或公司內部稽核人員更得隨時抽查內、外業作業情形，並填具相關檢查表格，以確保各階段工作品質的可靠度，並藉此作為後續修正作業流程或教育工作人員的基礎。

而為確實管控本次計畫的觀測品質，本公司訂立了一套工程品質管制程序如圖 2-3 所示。

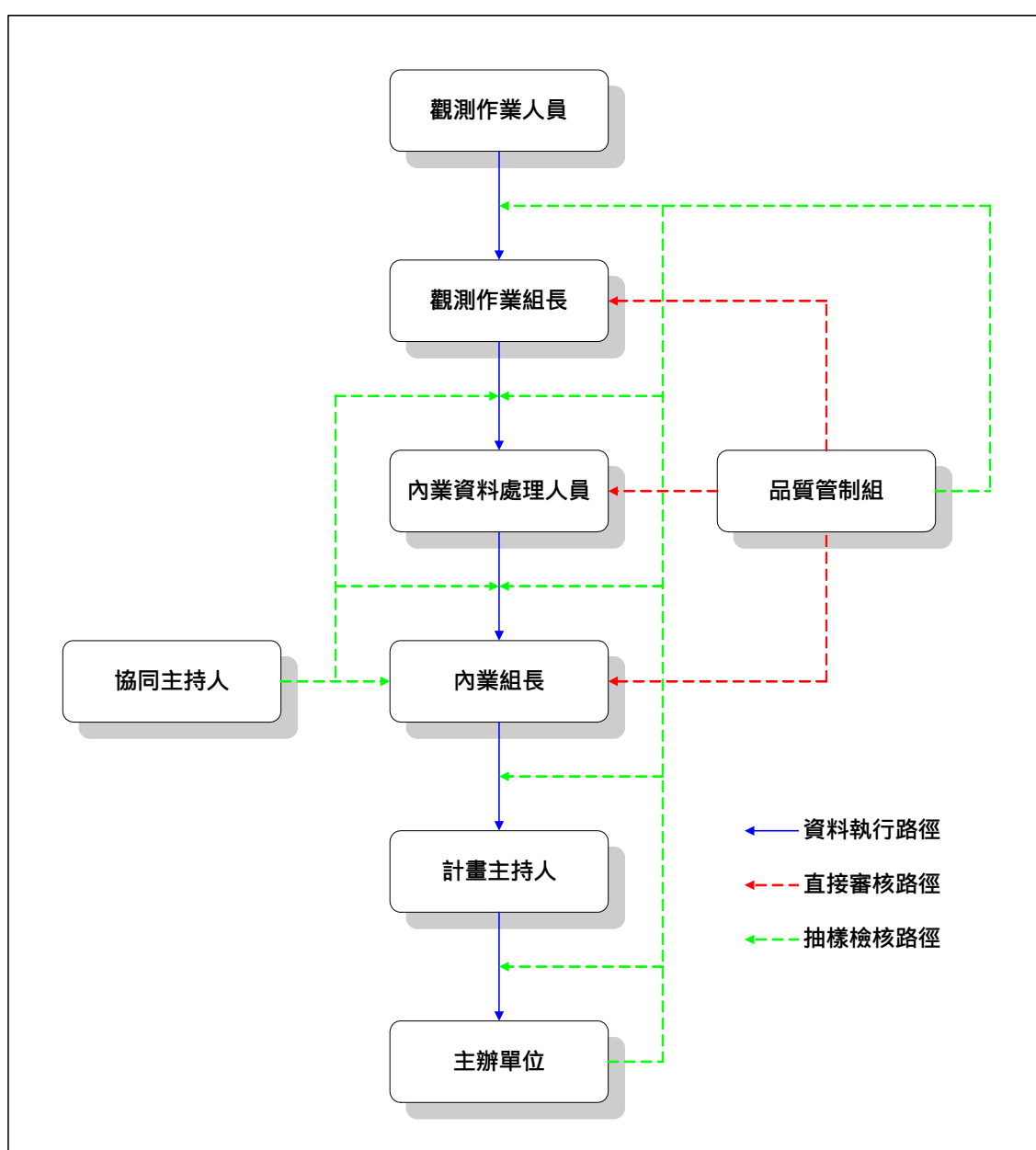


圖 2-3 工程品質管制流程圖

§2-4-3 行前教育訓練

除前述對儀器設備的檢校與建立嚴密的品質管制流程外，對於執行本次計畫能否順利圓滿成功的另一個主要因素，便是在於所有的工作人員是否充分了解計畫的執行內容，及明瞭各項步驟的作業規範，因此本公司於衛星定位測量前安排相關的行前教育訓練，並邀請 貴局派員蒞臨指導，表 2-2 為本次計畫行前教育訓練之課程表，圖 2-4 為行前教育訓練之情形。

表 2-2 行前訓練課程表

時間	項目	科目	授課人員
08:00~08:50		衛星定位測量原理概述	鄭鼎耀
休息 10 分鐘			
09:00~09:50		水準測量原理概述	張坤樹
休息 20 分鐘			
10:10~11:00		衛星定位測量標準操作程序	鄭鼎耀
休息 10 分鐘			
11:10~12:00		水準測量標準操作程序	張坤樹
中午用餐時間 (12:00~13:10)			
13:10~15:20		衛星定位測量儀器操作實習	徐水源
休息 20 分鐘			
15:40~17:30		水準測量儀器操作實習	陳南安



圖 2-4 行前教育訓練相片

第三章 計畫執行情形

§3-1 觀測點位清理結果

攜帶作業前所準備之點之記，地形圖、成果表、指北針、掌上型 GPS 等相關設備，各組人員依照所分配的點位至實地清查，以了解點位是否還存在或已遭破壞，並核對點之記內容、透空情況並拍攝相片，便於日後點位數量的統計及網形規劃。而在進行點位清理的過程中，需注意如下的事項：

1. 核對點位的標石號碼是否與點之記所載相符，標石種類、形制是否相同，以確定所清理的點位是否正確。
2. 核對點之記所載略圖及說明是否與現地相符，尤其是公路里程數，道路轉折位置及登山口標示處是否正確，若否，則於點之記上進行修正，以利後續觀測時使用。
3. 察看是否有其他較易抵達之交通動線，登山步徑及其他可幫助到達點位的事項，並註記於點之記上。
4. 清理點位到達步徑，並於重要轉折處綁登山步條，以利後續觀測作業的進行。
5. 清理點位上方的遮蔽物，使點位之透空度能維持良好狀態。若遇特殊原因無法進行清理障礙物時，需於點之記上註明原因，並詳細繪出點位遮蔽情況。
6. 若遇點位有損毀、遺失的情況，則於點之記上註明，並於點位周遭環境拍攝相片，以確保點位是否真的損毀或遺失。
7. 將清查出的交通動線，詳細繪製於五萬分之一地形圖上，以利後續觀測時程的安排。

依照前述所蒐集的點位資料，實地至各點位清理並確認是否合乎觀測標準，並統計相關點位資料便於後續進行網形規劃等相關作業。而在作業過程中，大、小金門及馬祖南北竿等，因島嶼間距離相近，在實際觀測作業中，分別合併於一區，共計僅剩八個作業區域。而十個離島點位清理統計結果如表 3-1~表 3-10 及圖 3-1~圖 3-10。而總計十個離島的作業點數，共計已知點（含一、二等衛星控制點、各級三角點、土地測量局三等控制點及潮位站水準點）177 點，一等水準點 158 點，共計 335 點。

表 3-1 澎湖本島點位清理成果統計表

控制點項目	控制點種類	合約預定數量	實際觀測數量
已知點	內政部一、二等衛星控制點	9	8
	各級三角點	15	13
	內政部土地測量局三等控制點	37	36
	潮位站水準點	1	1
	小 計	62	58
一等水準點	舊有一等水準點	7	7
	新設一等水準點	36	36
	小 計	45	43
總 計		105	101

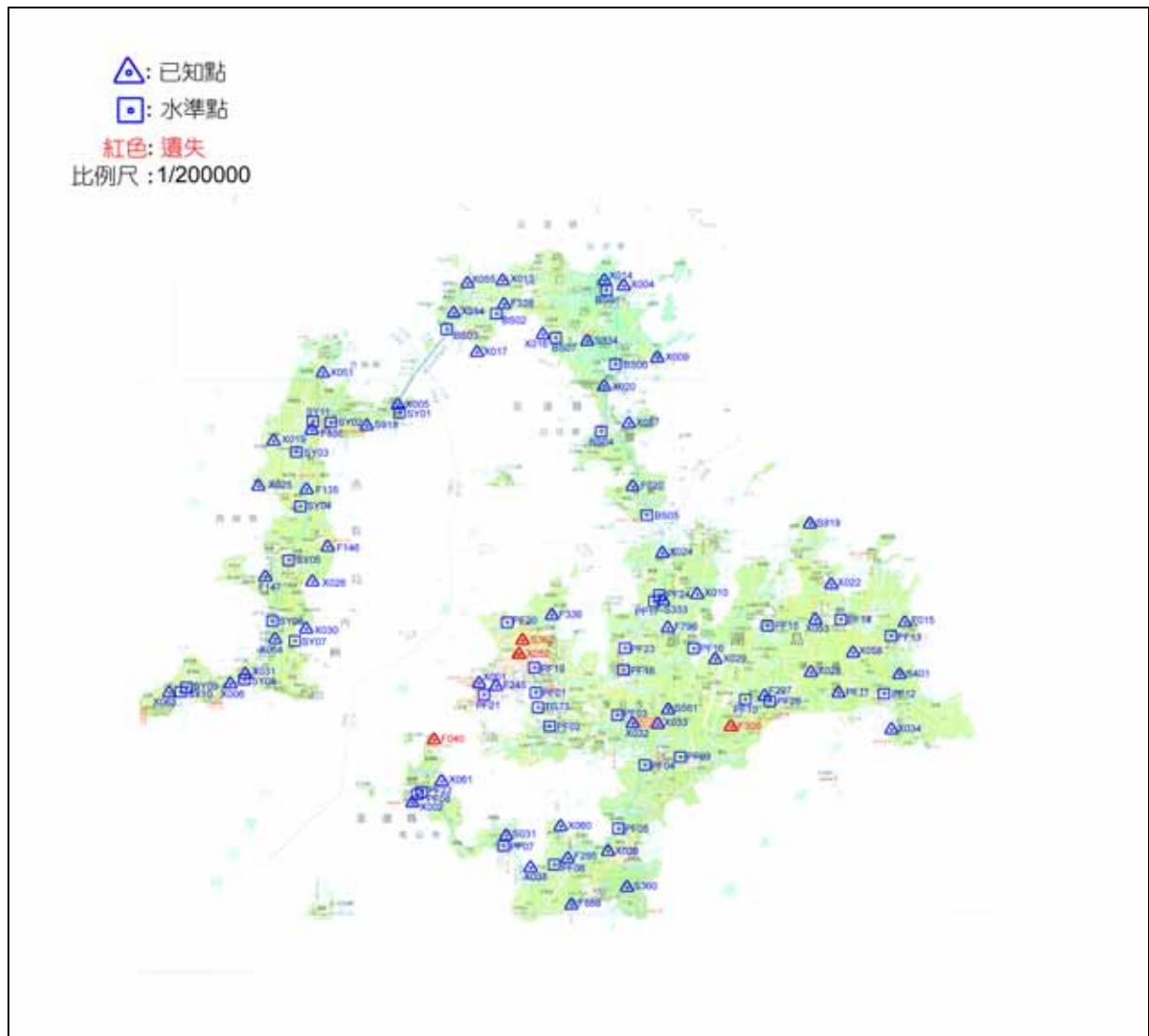


圖 3-1 澎湖本島點位分布圖

表 3-2 七美點位清理成果統計表

控制點項目	控制點種類	合約預定數量	實際觀測數量
已知點	內政部一、二等衛星控制點	1	1
	各級三角點	0	0
	內政部土地測量局三等控制點	4	4
	潮位站水準點	0	0
	小 計	5	5
一等水準點	舊有一等水準點	0	0
	新設一等水準點	6	6
	小 計	6	6
總 計		11	11

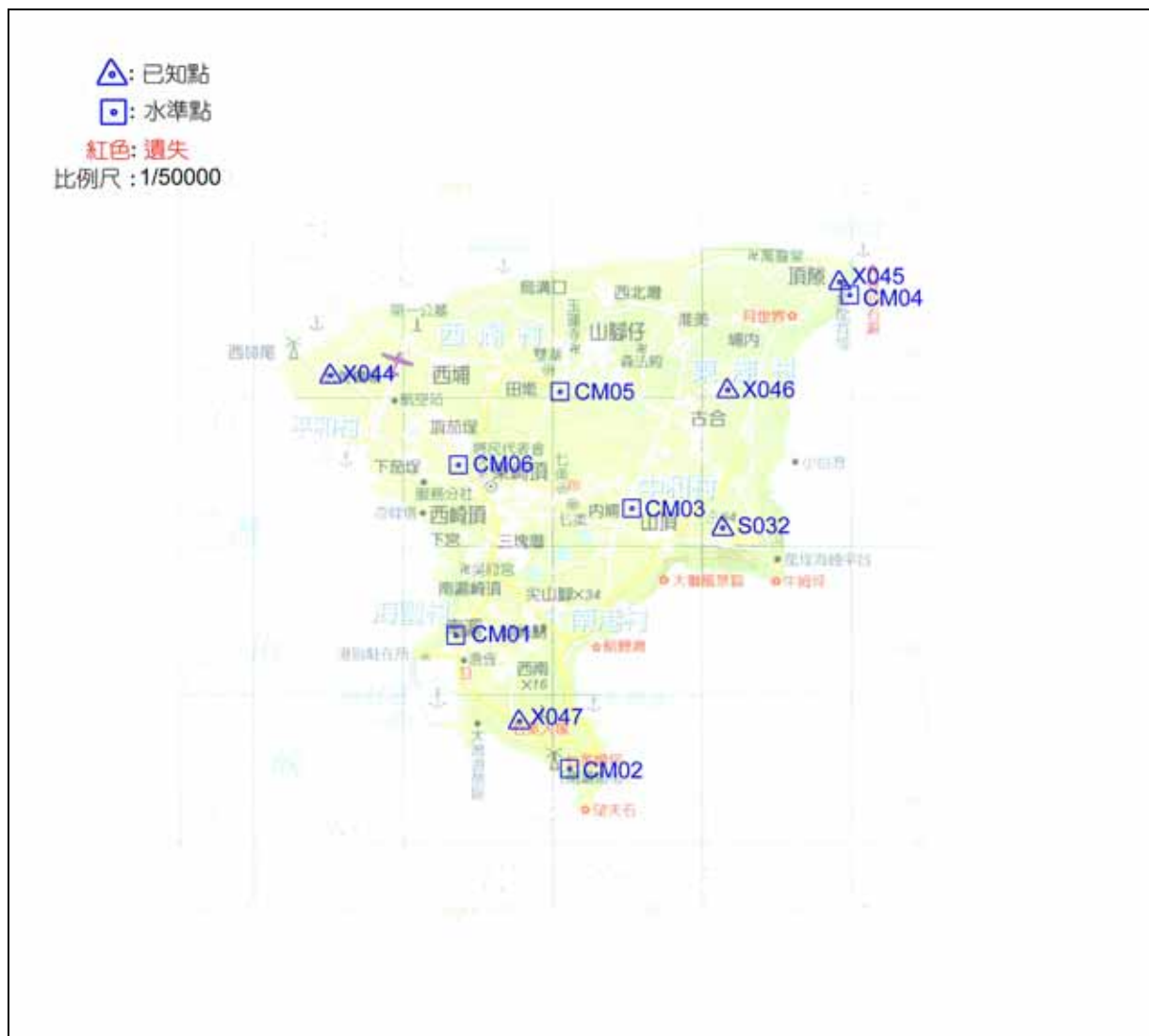


圖 3-2 七美點位分布圖

表 3-3 望安點位清理成果統計表

控制點項目	控制點種類	合約預定數量	實際觀測數量
已知點	內政部一、二等衛星控制點	2	2
	各級三角點	1	1
	內政部土地測量局三等控制點	3	3
	潮位站水準點	0	0
	小 計	6	6
一等水準點	舊有一等水準點	0	0
	新設一等水準點	4	4
	小 計	4	4
總 計		10	10

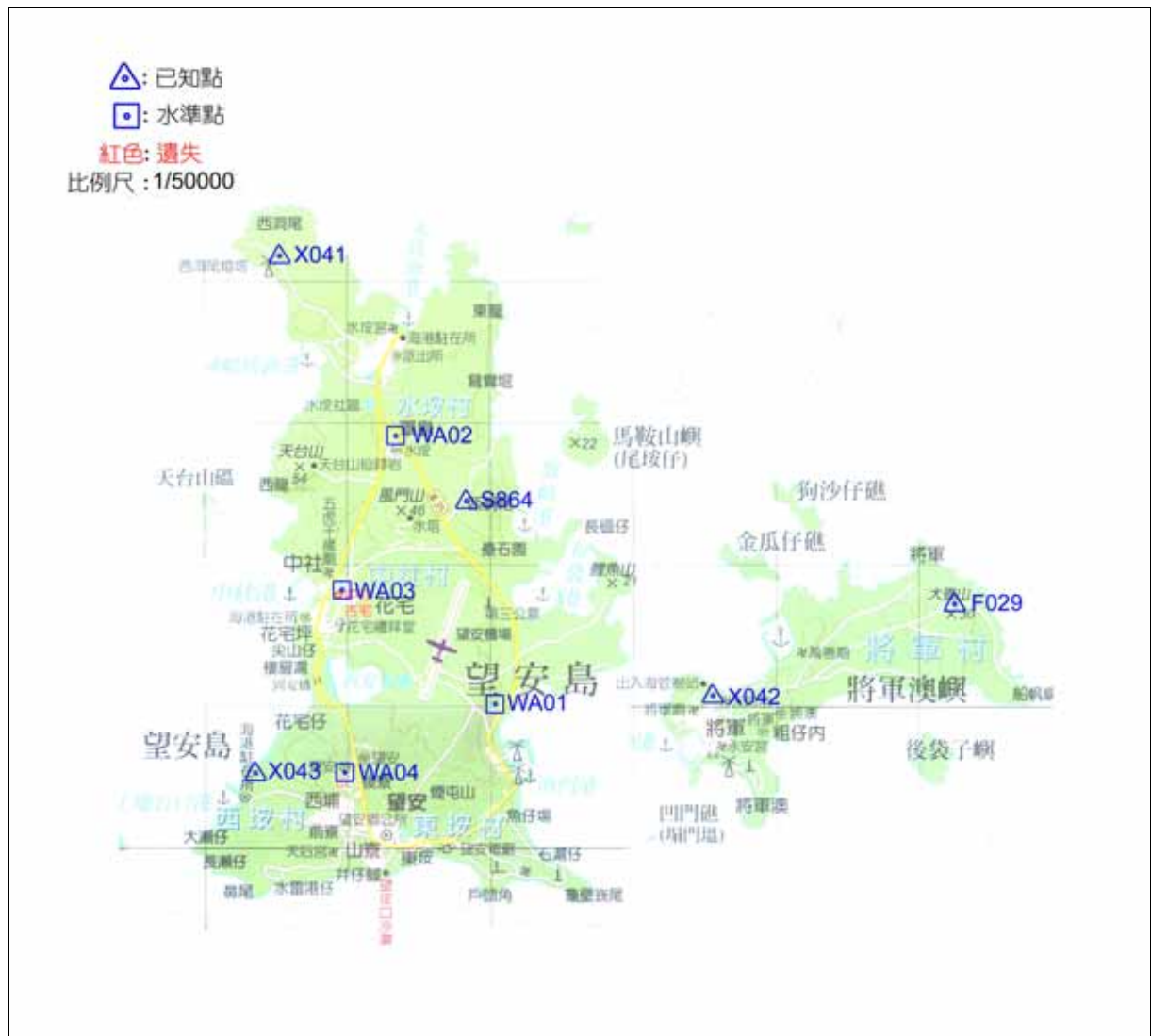


圖 3-3 望安點位分布圖

表 3-4 大金門點位清理成果統計表

控制點項目	控制點種類	合約預定數量	實際觀測數量
已知點	內政部一、二等衛星控制點	5	5
	各級三角點	0	0
	內政部土地測量局三等控制點	42	38
	潮位站水準點	1	1
	小 計	48	44
一等水準點	舊有一等水準點	6	6
	新設一等水準點	33	33
	小 計	39	39
總 計		87	83

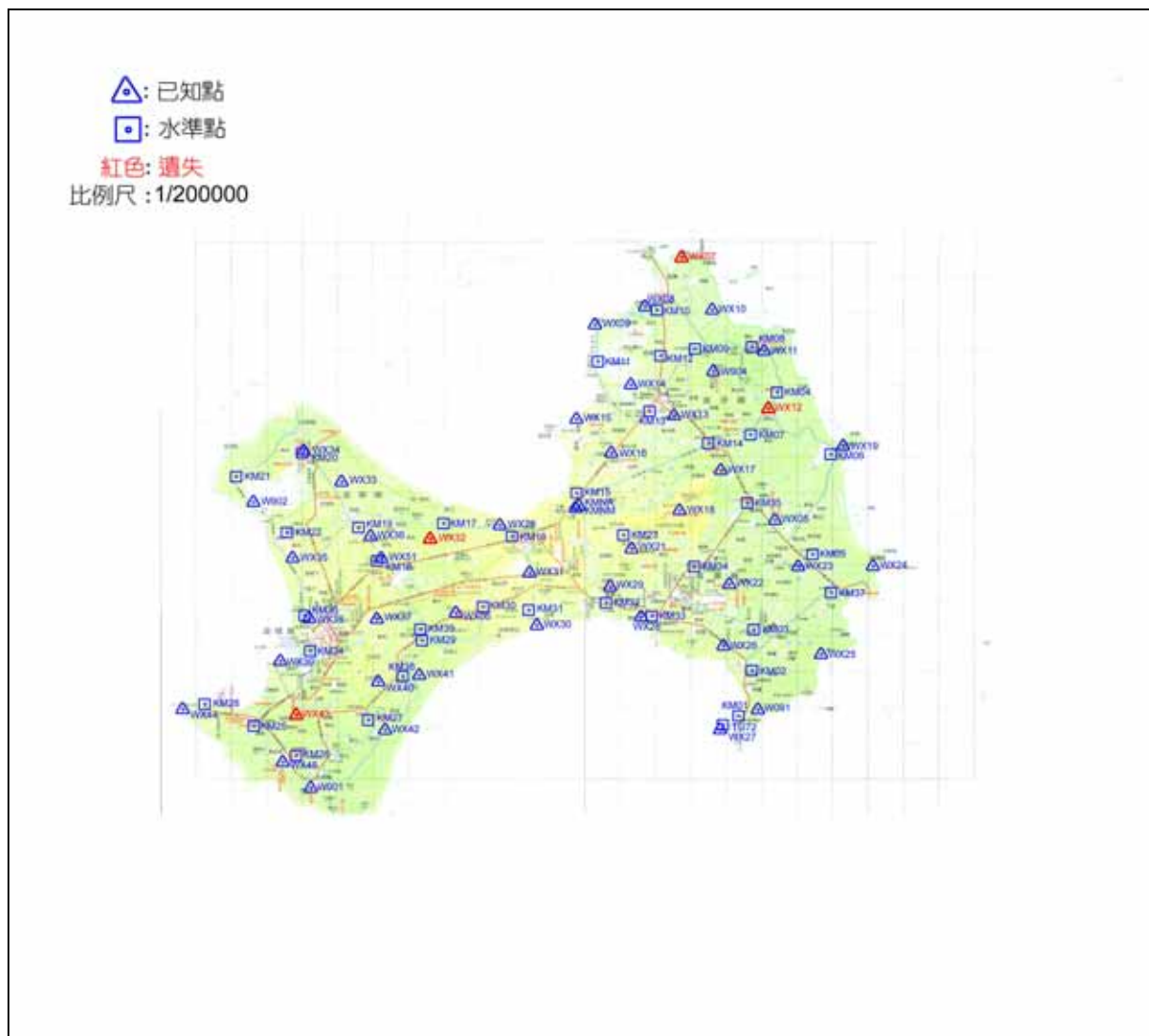


圖 3-4 大金門點位分布圖

表 3-5 小金門點位清理成果統計表

控制點項目	控制點種類	合約預定數量	實際觀測數量
已知點	內政部一、二等衛星控制點	2	2
	各級三角點	0	0
	內政部土地測量局三等控制點	5	4
	潮位站水準點	0	0
	小 計	7	6
一等水準點	舊有一等水準點	0	0
	新設一等水準點	9	9
	小 計	9	9
總 計		16	15



圖 3-5 小金門點位分布圖

表 3-6 南竿點位清理成果統計表

控制點項目	控制點種類	合約預定數量	實際觀測數量
已知點	內政部一、二等衛星控制點	3	2
	各級三角點	0	0
	內政部土地測量局三等控制點	14	14
	潮位站水準點	1	1
	小 計	18	17
一等水準點	舊有一等水準點	1	1
	新設一等水準點	12	12
	小 計	13	13
總 計		31	30

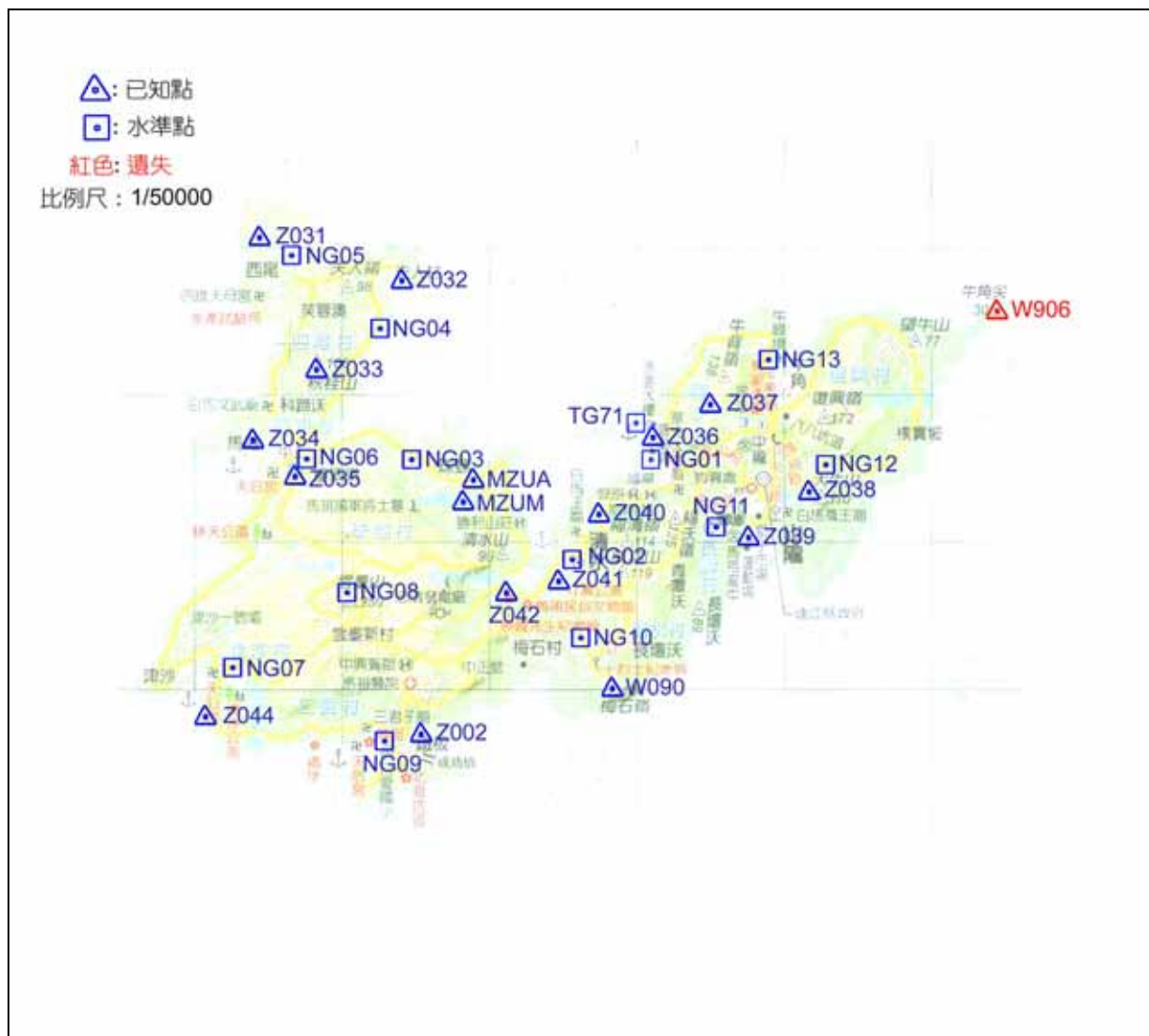


圖 3-6 南竿點位分布圖

表 3-7 北竿點位清理成果統計表

控制點項目	控制點種類	合約預定數量	實際觀測數量
已知點	內政部一、二等衛星控制點	3	3
	各級三角點	0	0
	內政部土地測量局三等控制點	11	9
	潮位站水準點	0	0
	小 計	14	12
一等水準點	舊有一等水準點	0	0
	新設一等水準點	7	7
	小 計	7	7
總 計		21	19

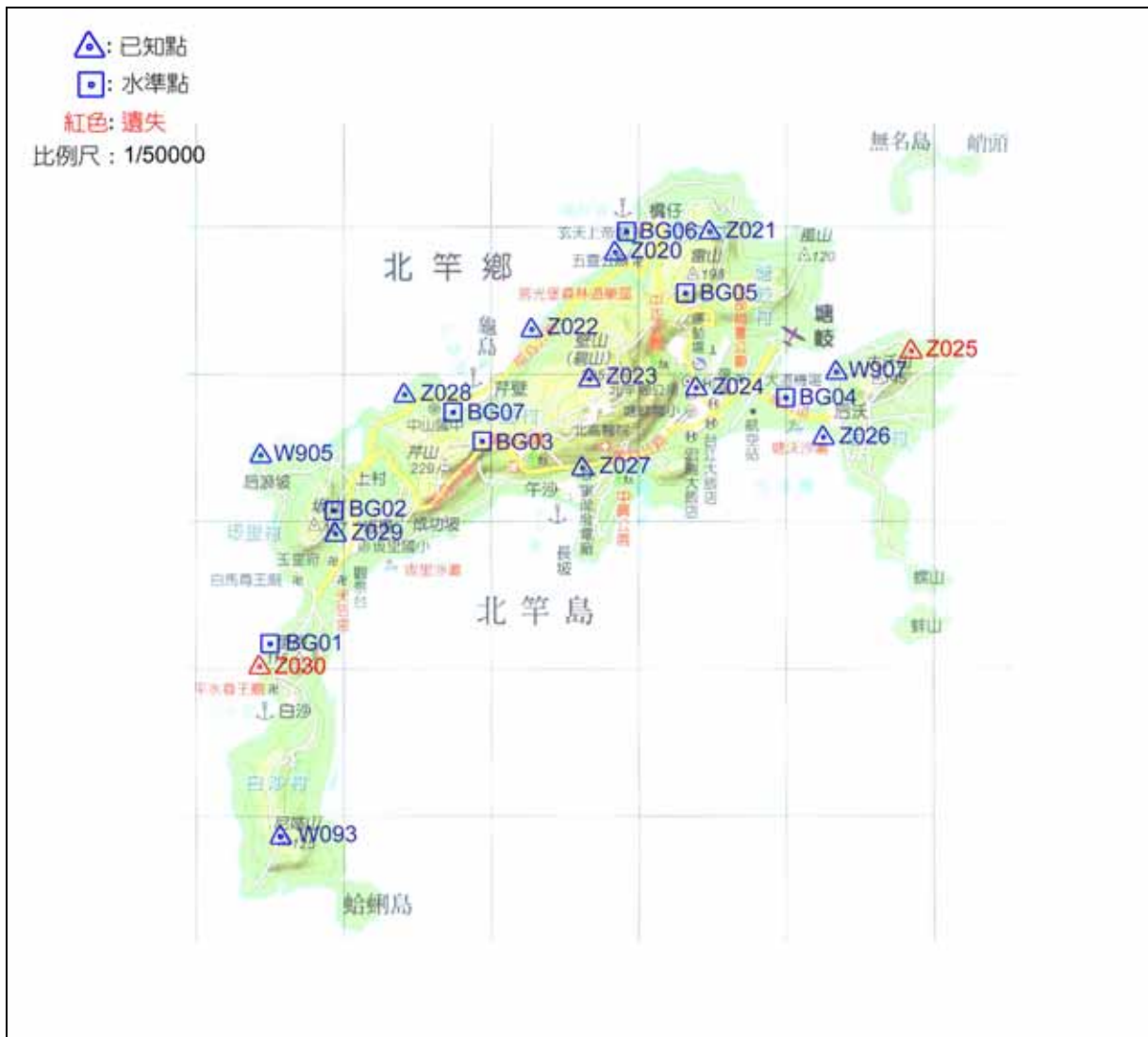


圖 3-7 北竿點位分布圖

表 3-8 綠島點位清理成果統計表

控制點項目	控制點種類	合約預定數量	實際觀測數量
已知點	內政部一、二等衛星控制點	1	1
	各級三角點	0	0
	內政部土地測量局三等控制點	5	5
	潮位站水準點	1	1
	小 計	7	7
一等水準點	舊有一等水準點	1	1
	新設一等水準點	9	9
	小 計	10	10
總 計		17	17

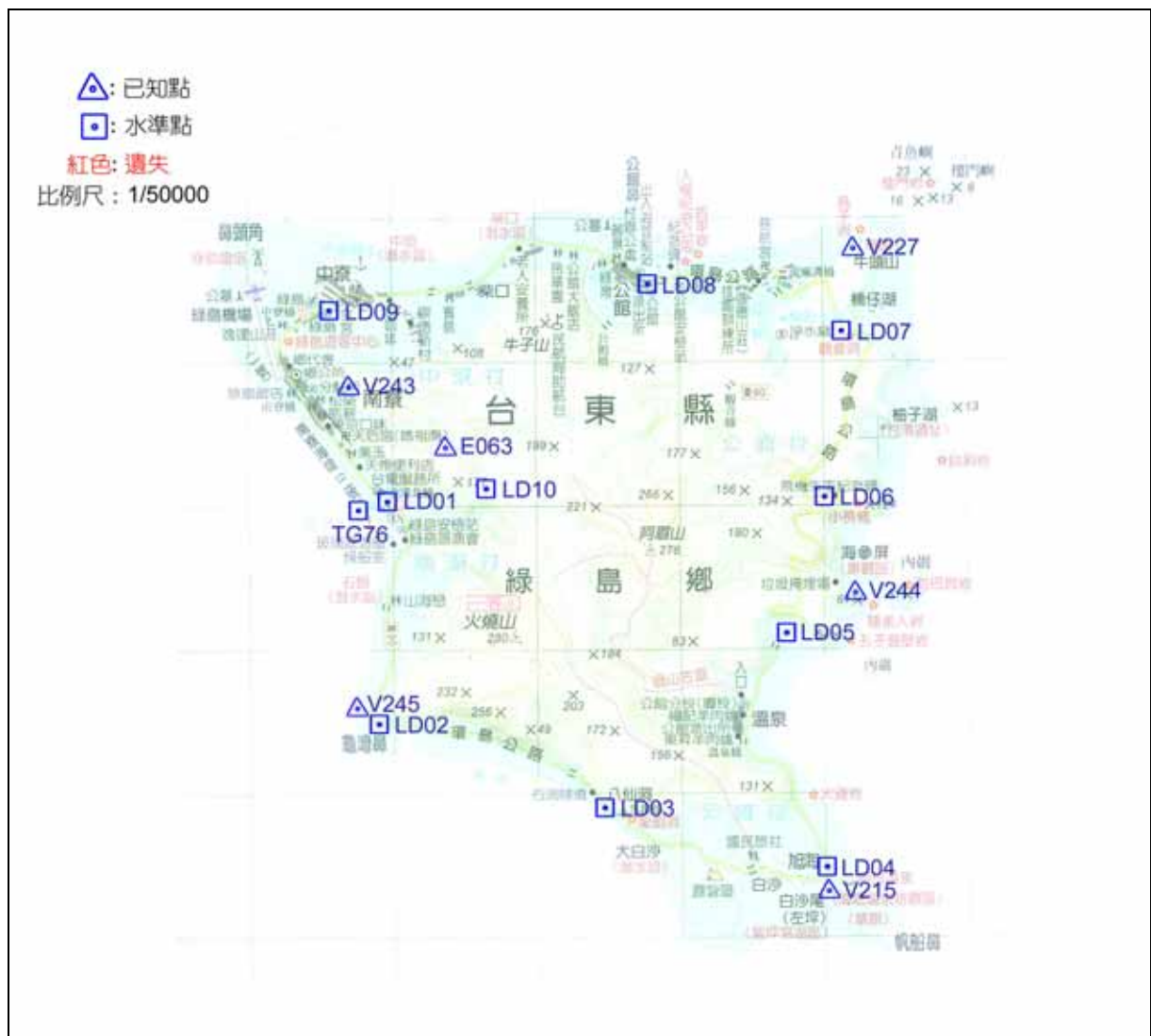


圖 3-8 綠島點位分布圖

表 3-9 蘭嶼點位清理成果統計表

控制點項目	控制點種類	合約預定數量	實際觀測數量
已知點	內政部一、二等衛星控制點	3	3
	各級三角點	0	0
	內政部土地測量局三等控制點	11	11
	潮位站水準點	1	1
	小 計	15	15
一等水準點	原有一等水準點	1	1
	新設一等水準點	17	17
	小 計	18	18
總 計		33	33

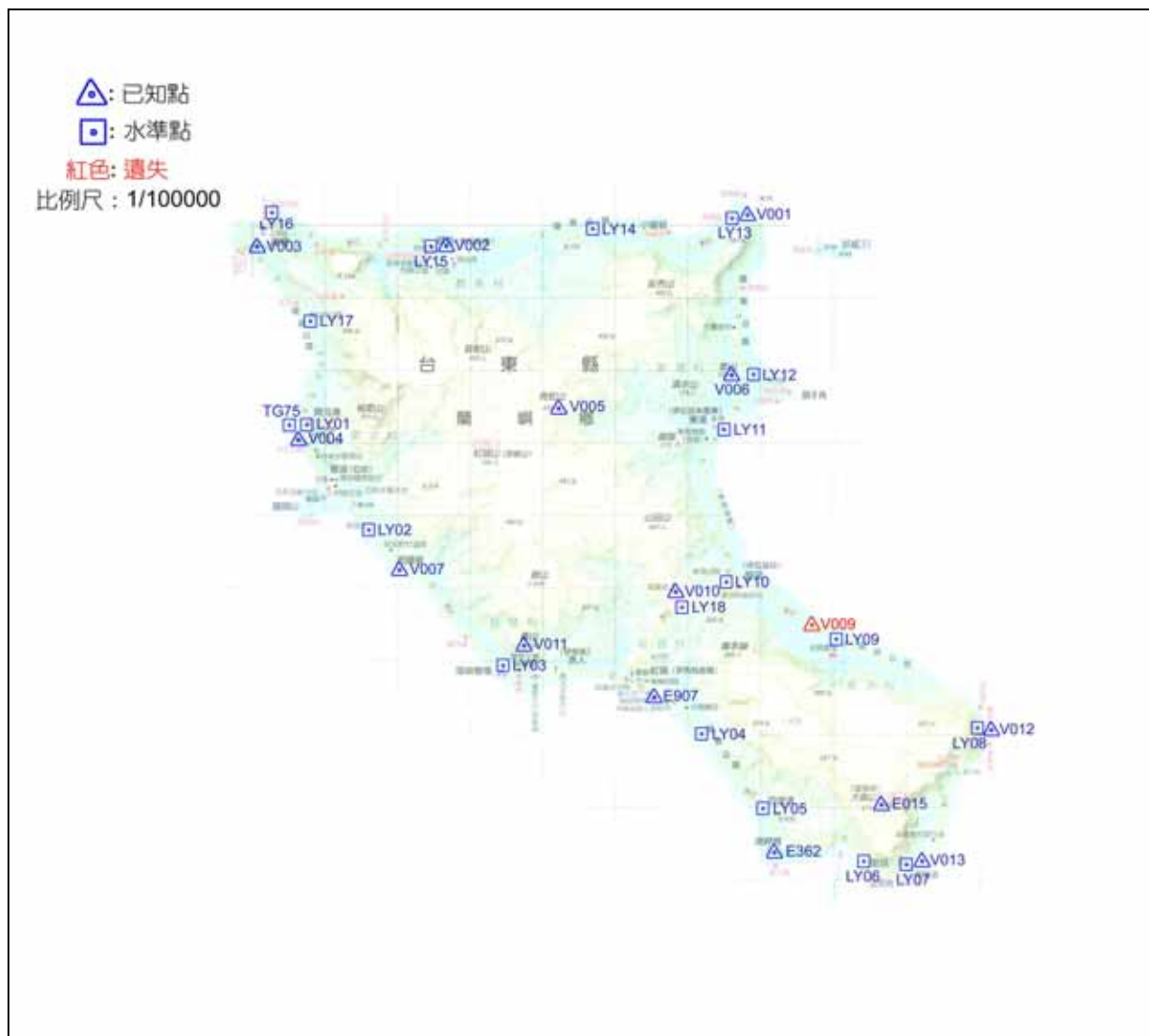


圖 3-9 蘭嶼點位分布圖

表 3-10 小琉球點位清理成果統計表

控制點項目	控制點種類	合約預定數量	實際觀測數量
已知點	內政部一、二等衛星控制點	1	1
	各級三角點	0	0
	內政部土地測量局三等控制點	5	5
	潮位站水準點	1	1
	小 計	7	7
一等水準點	原有一等水準點	1	1
	新設一等水準點	8	8
	小 計	9	9
總 計		16	16



圖 3-10 小琉球點位分布圖

而依照前述統計，部份區域實際觀測作業的點數與合約預定的點數不同，最主要原因在於部份選定之已知點於進行點位清查階段時，已遭破壞損毀（如圖 3-11）或遺失，因此於實際規劃作業時，不再將這些點位排入觀測。表 3-11 為本次作業階段發現遺失或損毀之點位。

表 3-11 未觀測點位一覽表

序號	點名	點號	等級	所在地	未觀測原因
1	西衛	S362	二等衛星控制點	澎湖縣馬公市	遺失
2	風櫃尾	F040	三等三角點	澎湖縣馬公市	損毀
3	烏嵌	F309	三等三角點	澎湖縣馬公市	損毀
4	重光	X052	三等控制點	澎湖縣馬公市	遺失
5	天摩山	WX07	三等控制點	金門縣金沙鎮	遺失
6	碧山	WX12	三等控制點	金門縣金沙鎮	遺失
7	西山村	WX32	三等控制點	金門縣金寧鄉	遺失
8	官路邊	WX43	三等控制點	金門縣金城鎮	遺失
9	埔頭	WX47	三等控制點	金門縣烈嶼鄉	遺失
10	牛角嶺	W906	二等衛星控制點	連江縣南竿鄉	損毀
11	88 高地	Z025	三等控制點	連江縣北竿鄉	遺失
12	尼姑山候車亭	Z030	三等控制點	連江縣北竿鄉	遺失
13	野銀	V009	三等控制點	台東縣蘭嶼鄉	遺失



圖 3-11 損毀點位相片圖

§3-2 觀測網形規劃

根據上述的清理結果，再依據可使用儀器數量、類型、衛星出沒表、衛星分布圖、規劃之控制網形及待測區域之地形、交通、環境特性...等，製作計畫觀測時段表及繪製網形觀測規劃圖，內容包括：

1. 每日觀測時段、工作預定日數及觀測時段總數。
2. 每日觀測時段開始與結束觀測時間。
3. 每日觀測時段之觀測站順序及作業人員、儀器與交通工具配置。
4. 網形規劃以蛙跳式方式進行外業觀測規劃。
5. 依據計畫觀測時段表規劃之觀測時段及測站，繪製網形觀測網形圖。

而八個作業區域的觀測網形則分別規劃，但於本計畫中，本公司為配合內政部土地測量局進學術相關之研究，另行規劃 4 個時段進行 24 小時聯測，其區域則涵蓋本島及諸離島，總計共規劃 50 個時段進行觀測，預定以 49 個工作天來完成本項作業，而各區預定觀測的時段數與工作天數如表 3-12。

表 3-12 各作業區計畫觀測時段數與工作天數一覽表

序號	作業區域	計畫時段數	預定工作天數
1	澎湖本島	14	8
2	七美	2	3
3	望安	2	3
4	金門（大、小金門）	14	8
5	馬祖（南、北竿）	7	6
6	綠島	2	3
7	蘭嶼	4	6
8	小琉球	2	3
9	台灣本島及諸離島（24hr 觀測網）	3	9
	總計	50	49

§3-3 外業觀測

§3-3-1 觀測作業程序

1. 於測站架設天線（天線組件應安置在附有基座之三角架上），並確實定心、定平。
2. 量測天線高度，並記錄之。
3. 依指北針調整天線方位，使天線特定標誌指向北方。
4. 確實接妥天線與接收儀之電纜及電源電纜。電池正、負極應注意正確接法，以免短路，損及電池或接收儀。
5. 打開接收儀電源，按儀器正常操作程序開機，檢查接收功能及記憶體空間是否足夠。
6. 按觀測時段表內規劃之時段，輸入點號、天線高、時段代號、資料記錄速率，最少接收衛星個數等參數，開始觀測並填寫觀測紀錄表(表 3-13)。
7. 觀測時段結束後關機，並重新量測天線高度，前後兩次天線高之差不應大於 5 公厘，取平均值做為最後天線高。注意光學基座對心是否偏移，若有則估計其偏移量及方向，記載於觀測紀錄表備註欄。
8. 不同時段連續觀測之點位，其天線高度應相差 10 公分（含）以上，另天線高需另以英制單位量測，並記錄於觀測紀錄表上，天線高英制與公制長度之較差應在 5 公厘以內。

§3-3-2 觀測作業規範

1. 規劃點位精度因子（PDOP）最大值為 10。
2. 資料記錄速率為 15 秒。
3. 同一時段各測站間共同觀測時間最少為 180 分鐘。
4. 採用 Trimble 4000 SSE（SSI）及 4700 衛星接收儀 12 至 16 部。
5. 總重覆觀測點數 40%以上。
6. 不同時段重覆觀測銜接邊數不得小於觀測網之 20%，至少 2 條。

表 3-13 一等水準點上實施衛星定位測量觀測紀錄表 (1/2)

觀測日期	民國 93 年 10 月 03 日	觀測點位	點名：情人洞 點號：LY12 標石種類：鋼標 標石號碼：LY12	記錄者：	魏建泰						
接收器	型號：Trimble 4000 SSE 序號：3307A02558	天線	型式：Compact L1/L2+GP 序號：0220068102								
觀測時段編號	004			下載儲存檔名	LY122771.dat						
觀測開始	天線高： <input checked="" type="checkbox"/> 斜距 <input type="checkbox"/> 垂距 (公制) 1 1.168 m 2 1.168 m 3 1.168 m 平均值 (av)：1.168 m (輸入值) (英制) (in)：46.0 英吋= 1.168 m 較差 (av-in)：0.000 m										
	開始時間：02 時 30 分 (24hr UTC) = 10 時 30 分 (24hr LT)										
	天氣情況：風力 3，雲量 1，雨量 無										
觀測結束	天線高： <input checked="" type="checkbox"/> 斜距 <input type="checkbox"/> 垂距 (公制) 1 1.168 m 2 1.168 m 3 1.168 m 平均值 (av)：1.168 m (輸入值) (英制) (in)：46.0 英吋= 1.168 m 較差 (av-in)：0.000 m										
	結束時間：06 時 30 分 (24hr UTC) = 14 時 30 分 (24hr LT)										
	天氣情況：風力 3，雲量 1，雨量 無										
電源是否中斷	<input checked="" type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 是 (時 分至 時 分)		接收器顯示	<input checked="" type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 不正常 (時 分至 時 分)							
定時檢查 (以一小時一次為原則)											
時間 (utc)	實際觀測衛星編號									定心	定平
02:30	05	14	30	18	22					<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
03:00	25	14	30	06	22					<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
03:30	01	25	14	30	06	22				<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
04:00	01	25	16	14	30	06	22			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
04:30	01	25	16	14	06					<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
05:00	01	25	16	14	06	03				<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
05:30	01	25	16	14	03	23	06			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
06:00	01	25	16	03	23					<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

風力區分：0-煙垂直上升，1-煙隨風向上升，2-微風拂面，樹葉規則擺動，旗面微飄。

3-塵埃揚起，小樹枝晃，4-帶葉小樹搖動，5-大樹枝搖動，電線嘶響。

雲量區分：雲分布佔天空面積百分比，0：<25%，1：25~75%，2：>75%。

備註：

表 3-13 一等水準點上實施衛星定位測量觀測紀錄表 (2/2)

點名：情人洞

點號：LY12

縣市：台東縣

檔名：SLY12-1.JPG



檔名：SLY12-2.tif



§3-3-3 外業觀測成果

根據上述的作業程序及規範進行 GPS 野外觀測，外業觀測日期自 93 年 7 月 14 日至 93 年 12 月 29 日止共 169 天，實際工作天數計 55 天，累計觀測 57 個時段，各區實際觀測時段統計如表 3-14。各區之實際觀測網形如圖 3-12~圖 3-19，而實際觀測時段表如附件一。

表 3-14 各區實際觀測時段數與作業日期一覽表

序號	作業區域	觀測日期	實際時段數
1	澎湖本島	93.7.23~93.8.1	15
2	七美	93.7.30	2
3	望安	93.7.29~93.7.31	3
4	金門(大、小金門)	93.8.21~93.8.26	15
5	馬祖(南、北竿)	93.7.14~93.7.17	8
6	綠島	93.9.30	2
7	蘭嶼	93.10.1~93.10.5	5
8	小琉球	93.8.4&93.12.28	3
9	24hr 觀測網	93.10.7&93.12.19~93.12.30	4
總計			57

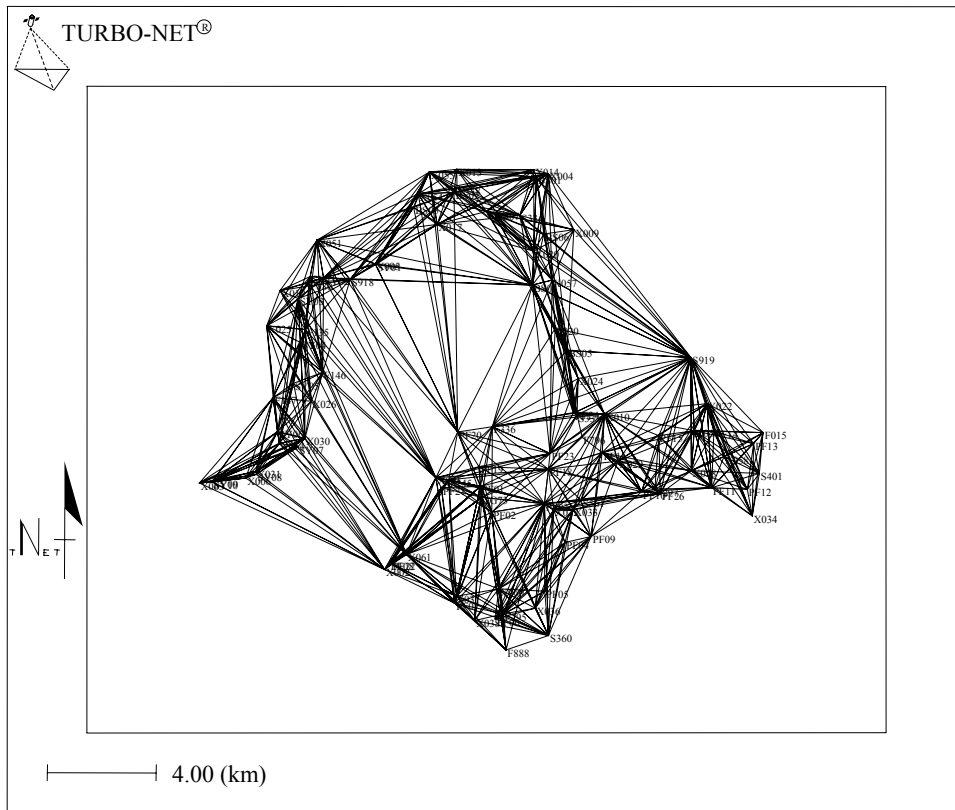


圖 3-12 澎湖本島實際觀測網形圖

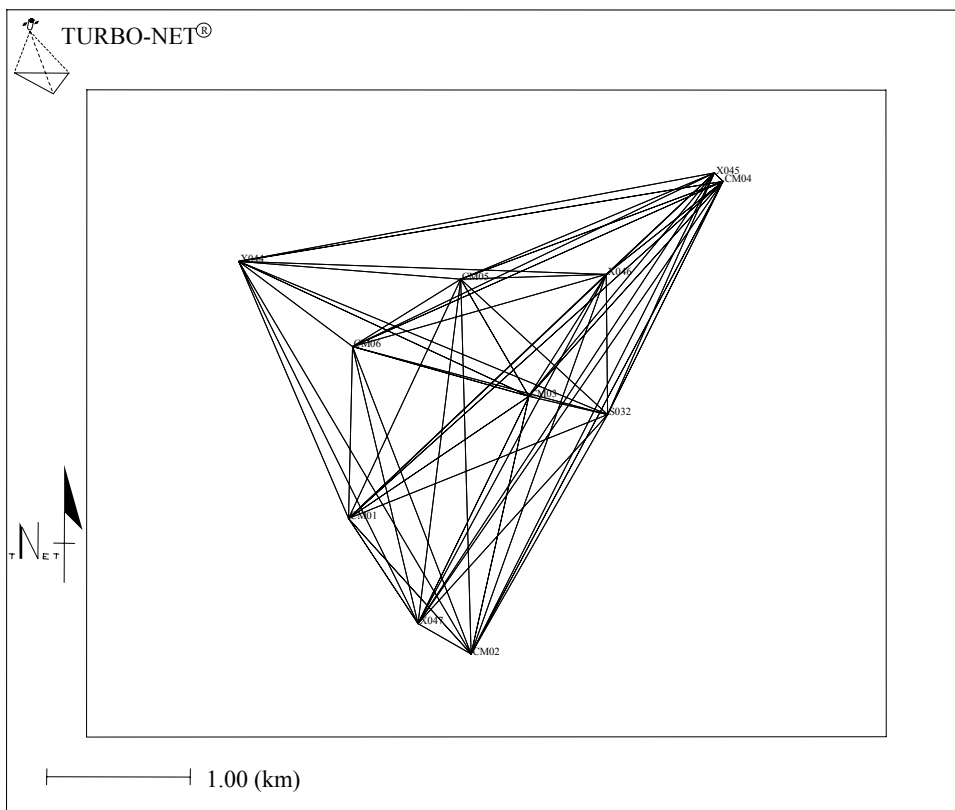


圖 3-13 七美實際觀測網形圖

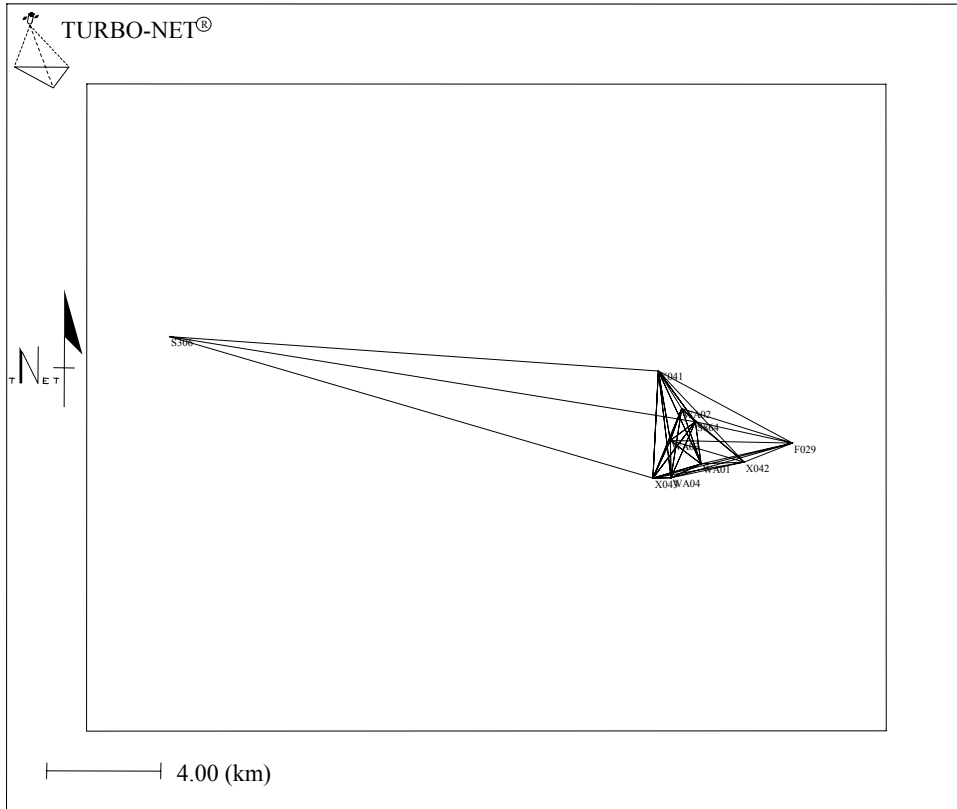


圖 3-14 望安實際觀測網形圖

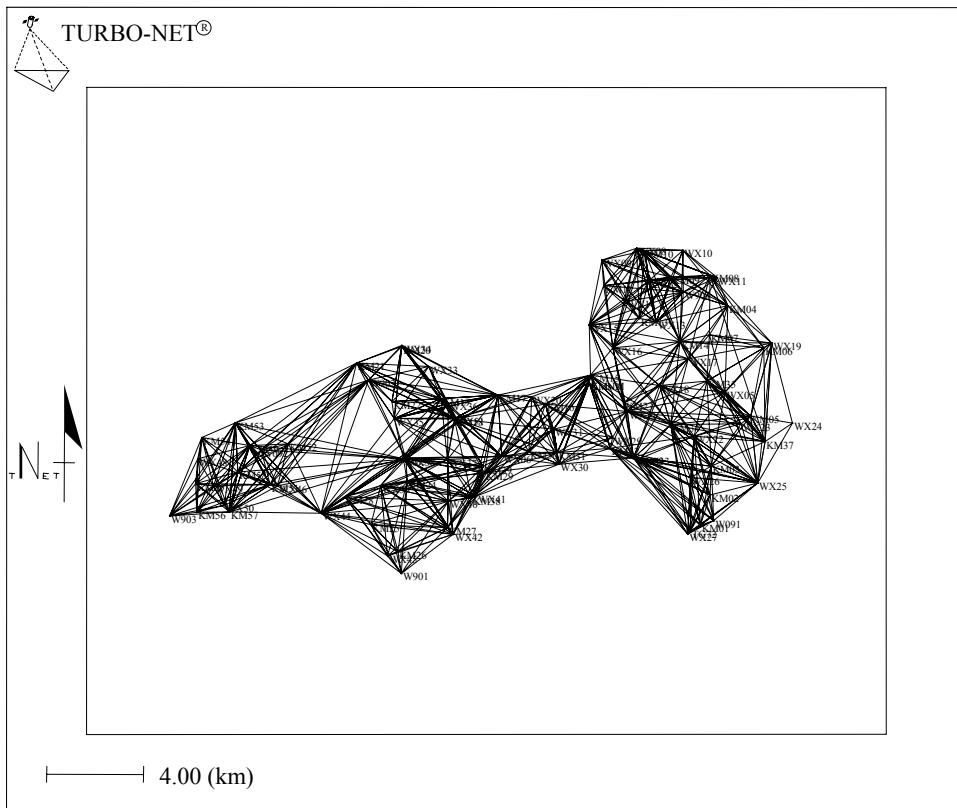


圖 3-15 金門（大金門、小金門）實際觀測網形圖

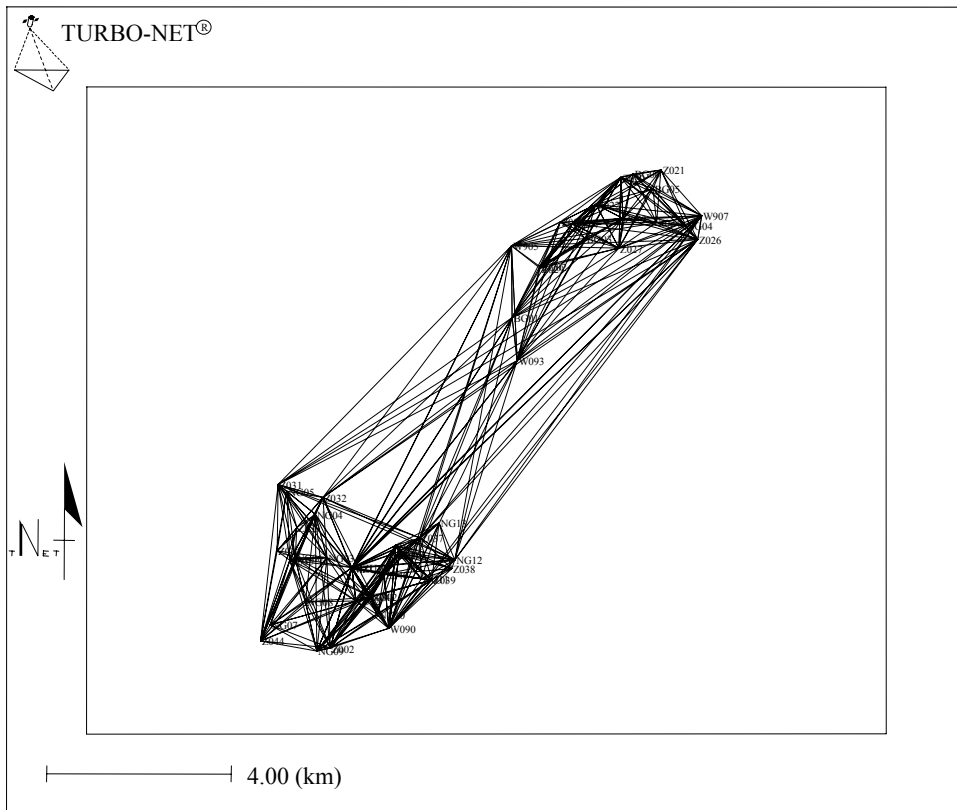


圖 3-16 馬祖（南竿、北竿）實際觀測網形圖

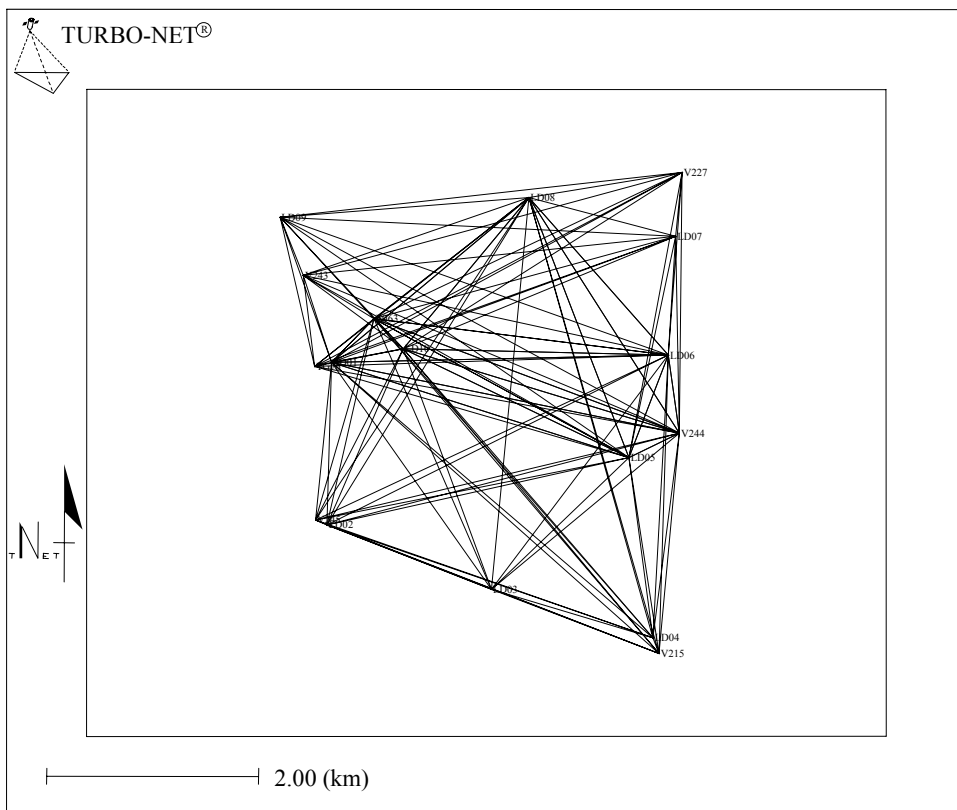


圖 3-17 綠島實際觀測網形圖

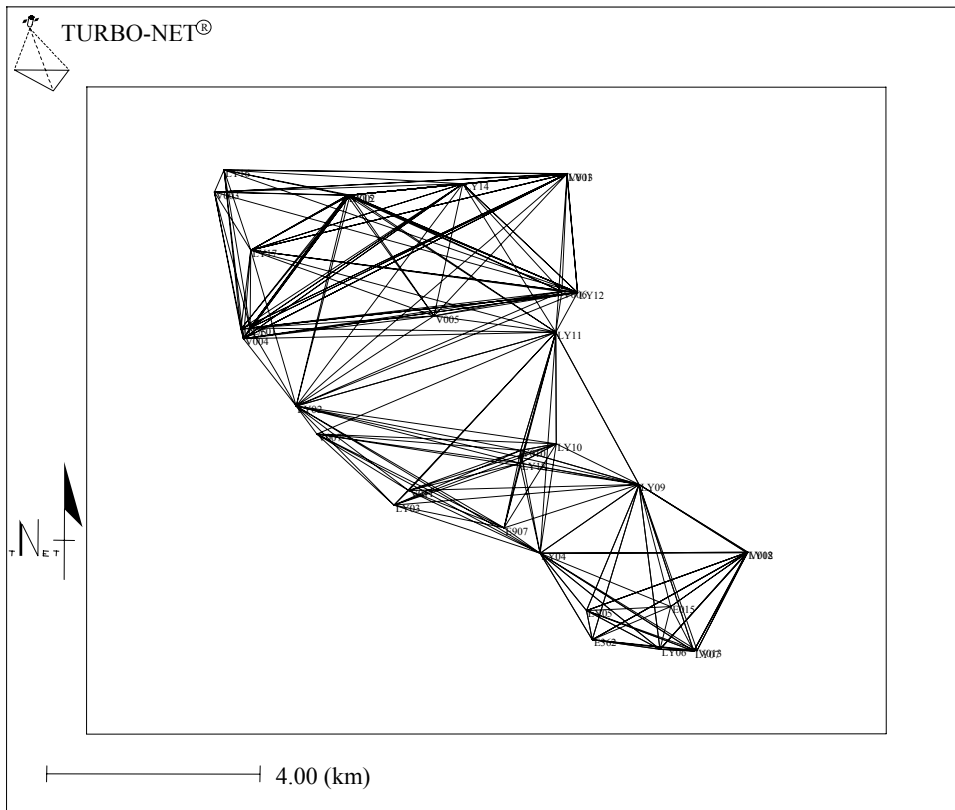


圖 3-18 蘭嶼實際觀測網形圖

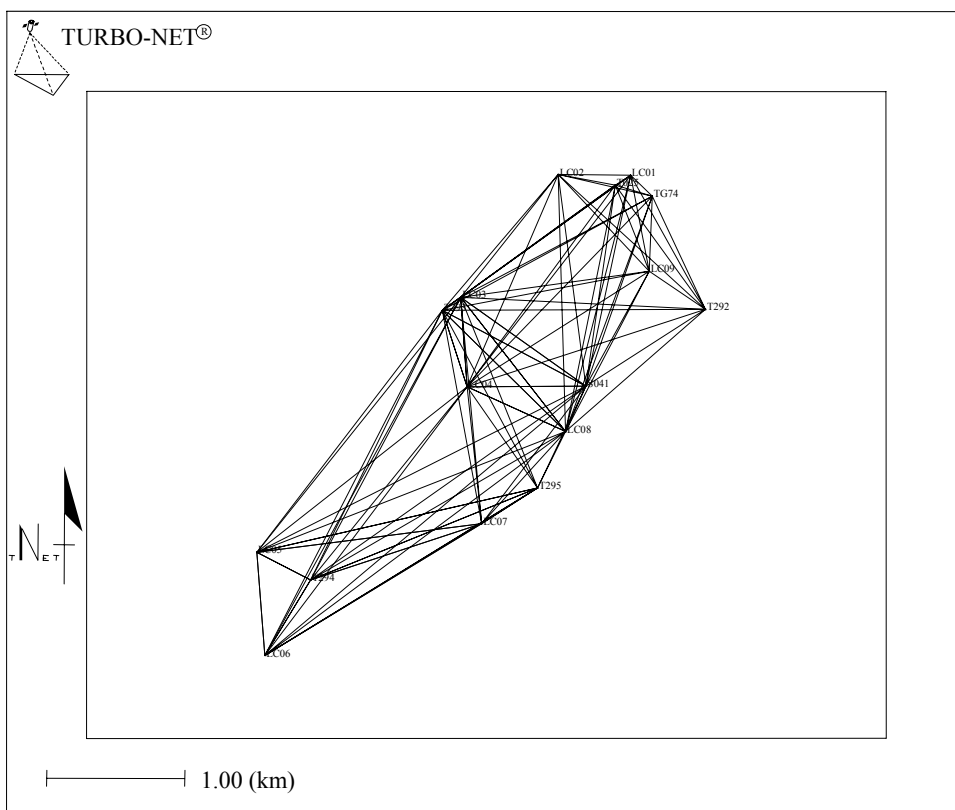


圖 3-19 小琉球實際觀測網形圖

§3-3-4 測站重覆性分析

在 GPS 外業觀測上，為確保網形觀測上的完整性，除了採用蛙跳式的網形規劃方式，不同網形間的重覆測站數依照合約需達 40%以上，其測站重覆率的公式如下：

$$\text{重覆觀測站數} \div \text{總觀測站數} \times 100\% = \text{測站重覆率}$$

依照上述公式計算，得到此次外業觀測之測站重覆率表 3-15。

表 3-15 測站重覆性分析一覽表

區域	澎湖本島	七美	望安	金門
重覆觀測站數	53	11	7	56
總觀測站數	101	11	10	99
測站重覆率	52.47%	100%	70%	56.57%
區域	馬祖	綠島	蘭嶼	小琉球
重覆觀測站數	29	7	22	10
總觀測站數	49	17	33	16
測站重覆率	59.18%	41.18%	66.67%	62.50%

第四章 觀測資料處理與基線計算

§4-1 觀測資料處理

GPS 測量成果的品質，取決於資料處理過程是否完善，故野外觀測蒐集的資料，應先逐日逐時段處理，求解各基線分量後，再結合全部所觀測基線的資料，進行基準轉換與網形平差的成果與分析。因此 GPS 衛星控制點網系是分階段構建而成的，先是由時段的子測區內，以一小群點位進行每一時段的數據整理，其次才將每一時段成果，逐一納入一個既存的網系內，最後再進行整個網系的平差工作。

因此，在執行本次計畫時，對於觀測資料的解算，因為進行 24 小時聯測網的原因，因此計算上採用兩套軟體 GPSurvey V2.35 版（一般觀測時使用）及 Bernese V4.2 版（24 小時聯測網使用），由於兩者在解算過程不盡相同，因此對於資料處理的過程須十分嚴密而謹慎，圖 4-1 為此次處理整個觀測資料的作業流程，而詳細說明分述如后。

由於此次外業觀測上採用的儀器均為同一廠牌的儀器（Trimble 4000 SSE (SSI) 及 Trimble 4700），因此在採用原廠傳輸軟體傳輸至電腦後，有以下的幾個步驟須加以進行：

1. 對照計畫觀測時段表及觀測紀錄表，確保觀測點位正確，並檢核觀測相片是否相符。
2. 核對下載檔名與儀器儲存檔名是否相同，若否則研判是否儲存錯誤或是下載錯誤。
3. 檢核觀測訊息檔 (*.mes)，確定點號、天線高、觀測時間是否正確，若否則加以註記並於後續進行修正。
4. 確定觀測資料量是否足夠，單點定位是否成功，否則須修正後續觀測計畫進行重測。
5. 使用配套之商用軟體 GPSurvey V2.35 版進行單一時段試算，確保該時段觀測成功，若判定觀測失敗，則將觀測失敗的點位配合修正後續觀測計畫進行重測。
6. 資料於各階段均進行備份，並確認觀測無誤後製作實際觀測時段表，並分別化算垂高至天線盤底部及相位中心。

7. 為配合 Bernese V4.2 版軟體計算使用，將原始的觀測資料轉換為標準的 Rinex 格式檔，並檢核檔頭是否有誤，若有錯誤則加以進行修正。
8. 使用修正後之垂高（換算至天線盤底部），進行 Rinex 格式檔的編修，以使 Rinex 格式檔能為 Bernese V4.2 版軟體應用計算。

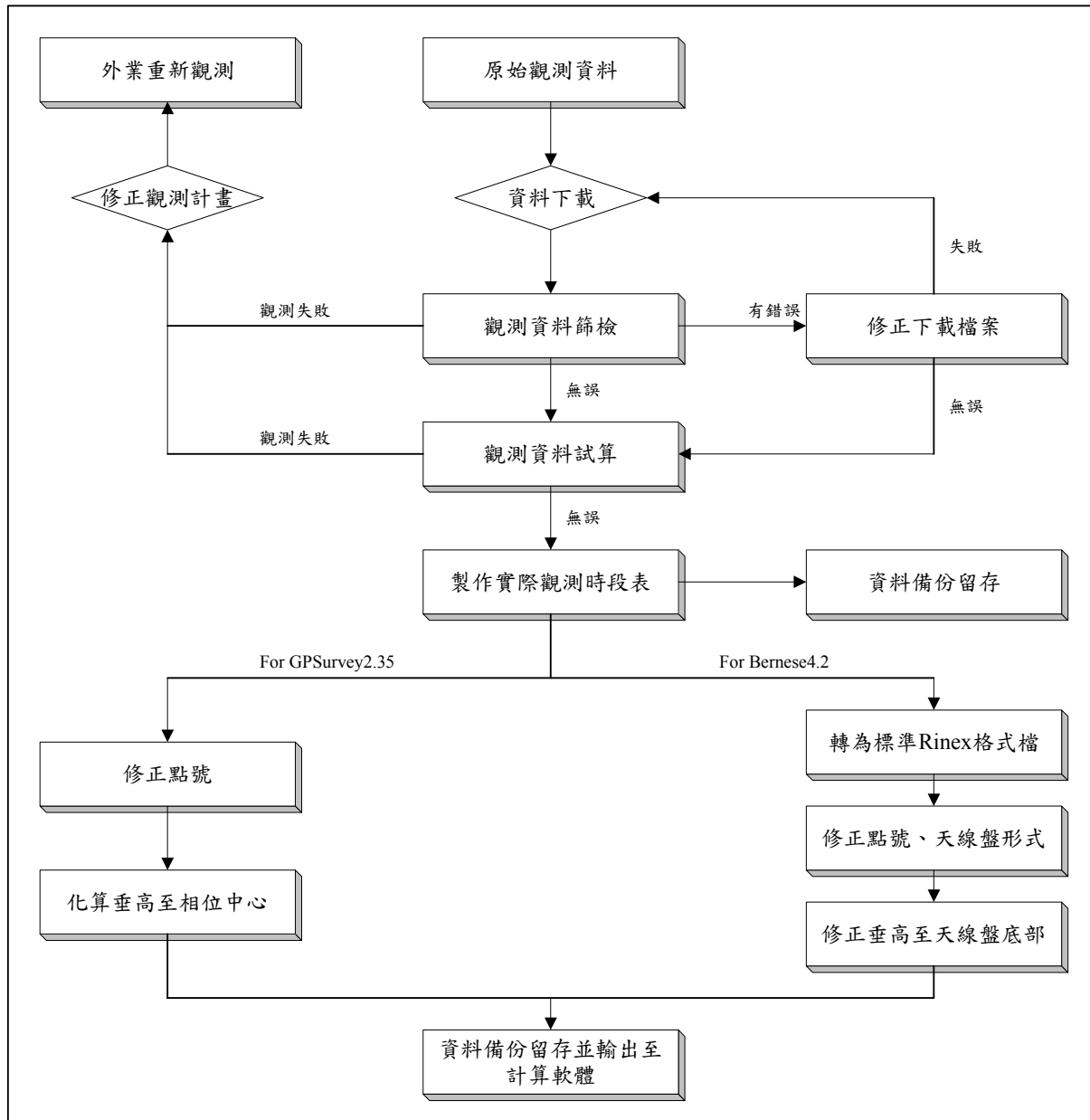


圖 4-1 觀測資料處理流程圖

§4-2 相關資料蒐集

除了整理原始觀測資料並進行修正及轉檔外，在本次作業時，為配合整體網形平差，及計算軟體的運作，尚有下列資料須同步進行蒐集，現今分述如后：

1. 透過內政部土地測量局取得內政部衛星追蹤站資料。
2. 衛星的軌道誤差雖可經由相位觀測量二次差降低其影響，但仍可能有殘餘誤差的存在，而採用的解決方式乃是使用精密軌道（星曆）逕行消除之。因此採用的星曆為 IGS (International GPS Service) 提供之精密星曆，以取代接收儀接收的廣播星曆。
3. 為配合 Bernese V4.2 版軟體計算使用，須至瑞士伯恩大學天文研究所的伺服器下載最新的參數，其包含下列四個參數檔案；
 - (1) 地球每天的自轉參數檔案 (C04_****.erp；****表西元年)。
 - (2) 各種不同 GPS 天線盤的相位中心偏移量以及相位中心變化量 (Phas_igs.01)。
 - (3) 標示著每一顆衛星的健康狀態 (Sat_****.crx；****表西元年)。
 - (4) 標示著每一顆衛星的重量、天線盤傾角等相關資訊檔 (Satellit.ttt)。

當蒐集上述資料後，對於內政部衛星追蹤站的資料仍需加以檢核，由於所取得的檔案為標準的 Rinex 格式檔，因此需確認檔頭記載的點號、觀測時間是否相關，及格式記錄是否正確。另外所取得 IGS 精密星曆資料，僅能直接為 Bernese V4.2 版軟體直接讀取，若要能被 GPSurvey V2.35 版軟體所讀取，仍須透過廠商提供的程式進行轉換為軟體可接受的格式。

§4-3 天線高化算

雖然本次計畫均採用相同廠牌之儀器與設備，但在不同型式的天線盤中，其量度的儀器高度（斜距）與軟體計算所需的高度（垂距）所計算的數值並不相同，再則對於 GPSurvey V2.35 版及 Bernese V4.2 版所需化算的位置亦不相同，因此在天線高化算上需十分小心注意，以避免不必要的人為錯誤。圖 4-2 為天線盤量度的示意圖。分別對兩種軟體化算天線高則如下公式進行：

GPSurvey V2.35 版採用之垂距：（化算至天線盤相位中心）

$$H_G = \sqrt{S^2 - R^2} + C$$

Bernese V4.2 版採用之垂距：（化算至天線盤底部）

$$H_G = \sqrt{S^2 - R^2} + C - A$$

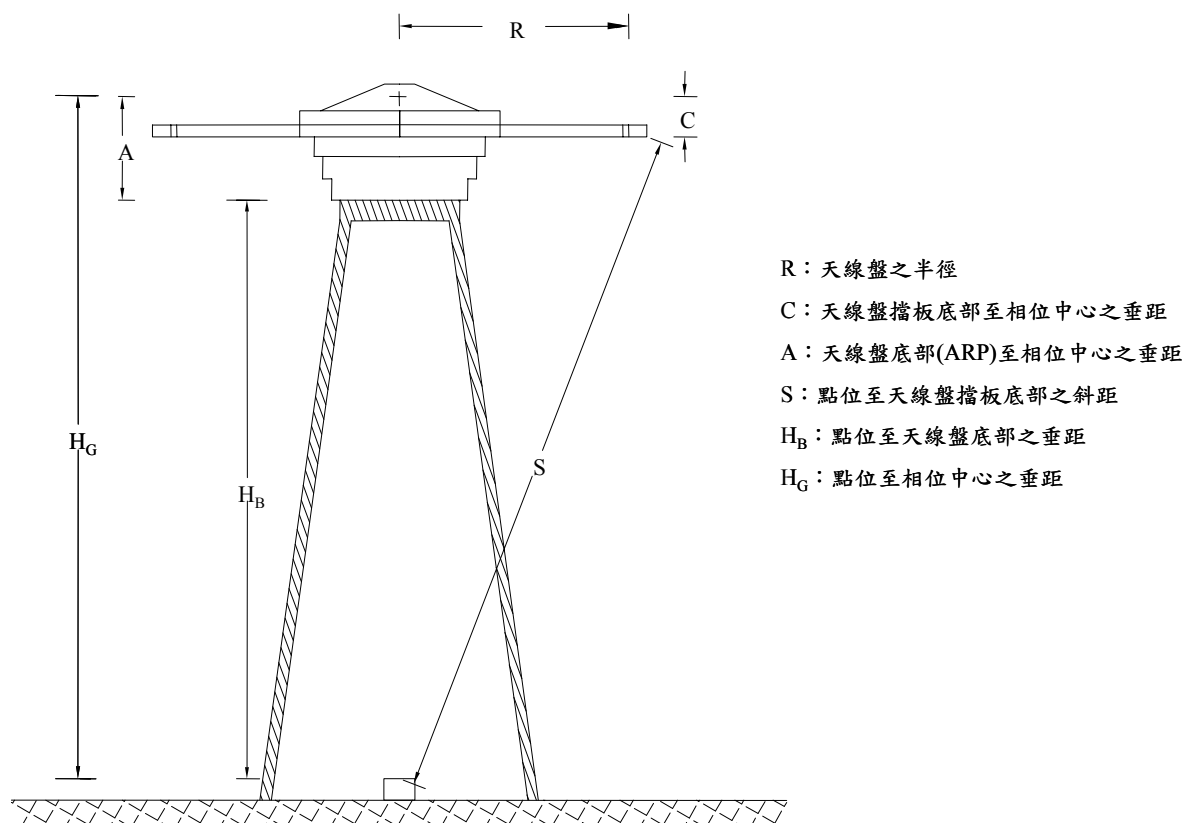


圖 4-2 天線盤量度示意圖

則依照上述公式計算各測站之天線盤高度，而本次採用之天線盤均為 Trimble 公司之產品，共計有 5 種型式，其型號與各項天線高化算之參數如表 4-1 所列，其外觀與樣式如圖 4-3。

表 4-1 各種型式天線高化算參數一覽表

組別	天線盤型式	天線盤型號	化算參數 (m)		
			R	C	A
1	4000SST/SSE L1/L2+GP	TRM14532.00	0.2334	0.0095	0.0692
2	Compact L1/L2+GP	TRM22020.00+GP	0.2334	0.0069	0.0625
3	Micro-Centered Permanent L1/L2+GP	TRM33429.20+GP	0.2334	0.0069	0.0665
4	Micro-Centered L1/L2+GP	TRM33429.00+GP	0.2334	0.0069	0.0625
5	Zephyr Geodetic	TRM41249.00	0.1689	0.0089	0.0533

R：天線盤之半徑

C：天線盤擋板底部至相位中心之垂距

A：天線盤底部(ARP)至相位中心之垂距



4000SST/SSE L1/L2+GP



Compact L1/L2+GP



Micro-Centered Permanent L1/L2+GP



Micro-Centered L1/L2+GP



Zephyr Geodetic

圖 4-3 本計畫使用之天線盤相片圖

§4-4 基線計算之方法

基線計算處理是精度關聯之所在，亦是在室內完成野外觀測之資料分析，即是計算出兩個接收站之間的相對位置。由於精密衛星星曆是計算之依據，使得載波相位二次差觀測量的數學模式是在 WGS 的地心固定坐標系內進行，而計算的成果則是二個接收天線中心之相對坐標差值，最後再經由天線高度化算至測量標記，稱之為基線分量 ($\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$)。

在本次計畫基線向量計算過程中，由於採用 GPSurvey V2.35 版及 Bernese V4.2 版兩種軟體加以計算，由於兩者在運算模式的不同，因此，在處理過程中亦採取不同的策略來進行，今分述如后：

1. 當採用 GPSurvey V2.35 版軟體運算時，先求出每一觀測時段之獨立基線後，再依網形分布狀況增加基線求解，主要之目的乃是做為日後單時段網形平差之前處理。而增加基線之原則為使所有之基線均可以有環狀閉合差檢查的條件。而完成每一時段基線計算後，再另外使用網形平差軟體 Turbo-NET V2.3 版進行單一時段網形平差，以確保解算的基線成果可靠，避免日後將全網系結合進行平差時，出現錯誤的存在。
2. 若採用 Bernese V4.2 版軟體運算時，首先進行資料前處理過程，此時主要檢查觀測資料品質，並將品質不佳的觀測資料註記不予使用後，而後進行單點定位求得坐標近似值，並進行接收儀的時錶誤差改正，接著組成三次差相位觀測方程式進行週波脫落偵測與補償，最後再進行未知參數的估計；而資料經過篩選進入參數估計階段時，主要利用二次差相位觀測方程式估計未知參數（如點位坐標參數、對流層附加改正參數、電離層改正參數、軌道參數等），並藉此產生法方程式矩陣以及未知參數的變方-協變方矩陣。

經過上述考慮的解算策略後，在實際使用兩種不同軟體進行計算時，仍有許多須要謹慎注意，因此在後面將分別詳述其解算的過程與須注意的事項。而針對軟體的不同特性，及觀測資料的品質與觀測時間長短，因此在計算各區水準點成果時，採用 GPSurvey +Turbo-NET 的方式計算；而對於跨島的 24 小時聯測網時，則以 Bernese V4.2 版軟體來進行計算。

§4-5 GPSurvey +Turbo-NET 解算方法

§4-5-1 GPSurvey V2.35 版解算流程

因為 GPSurvey V2.35 版軟體為本次計畫使用的接收儀器（Trimble 4000SSE/SSI 及 4700）的儀器商所提供的商用套裝軟體，在使用上可直接讀取觀測的原使資料而無須經過資料格式轉換，因此，可減少因人為編修之錯誤及觀測資料誤判的情形。

而實際在使用上，對於 30 公里以內的短基線求解，GPSurvey V2.35 版有相當的可靠性，對於此次測區內基線求解，大部份約在 2~15 公里左右，因此可獲得良好的成果，且其自動解算的成功率平均約在 80%以上，可減少因大量人工計算的繁複及錯誤。

而在解算過程中，仍有下列事項須加以注意：

1. 因為由 IGS 所取得的星曆資料格式並無法直接被 GPSurvey V2.35 版軟體所讀取，因此須透過廠商所提供的程式將星曆的格式進行轉換（*.sp3 轉換為*.e18）。
2. 由於此次本公司採用的 Trimble 4000SSE（SSI）為雙頻接收儀，其基線解算是以觀測量線性組合組成的 L3 觀測量，可消除大部分的電離層遲滯影響，故若使用本案採用之基線解算軟體 GPSurvey V2.35 版軟體解算基線後，所採用的基線必須是 L3 觀測量的固定整數解(Iono free fixed)。
3. 因為對流層對 L1 及 L2 遲滯的影響量是相同的，故無法用觀測量線性組合消除其影響，一般採用的方式是用折射模式計算其改正量，本次採用的模式為 GPSurvey V2.35 版軟體內定之 Hopfield 模式來改正對流層遲滯效應。
4. 資料篩選臨界值（Edit 值）：依合約規定為 2.5（含）以下，即是針對觀測量的品質，在 95%信心區間下，當觀測量經過雜訊過濾，大於 2.5 倍中誤差時，將其視為雜訊予以剔除。
5. 比率檢驗值（Ratio 值）：為最佳解（變方最小）與次佳解經 F 測試的比值，其值愈高，表示基線解算的可靠度愈高，而此次基線計算過程中，其比率檢驗值（Ratio 值）最小為 3.0（含）以上。

而整個 GPSurvey V2.35 版軟體解算基線的作業流程如圖 4-4 所示：

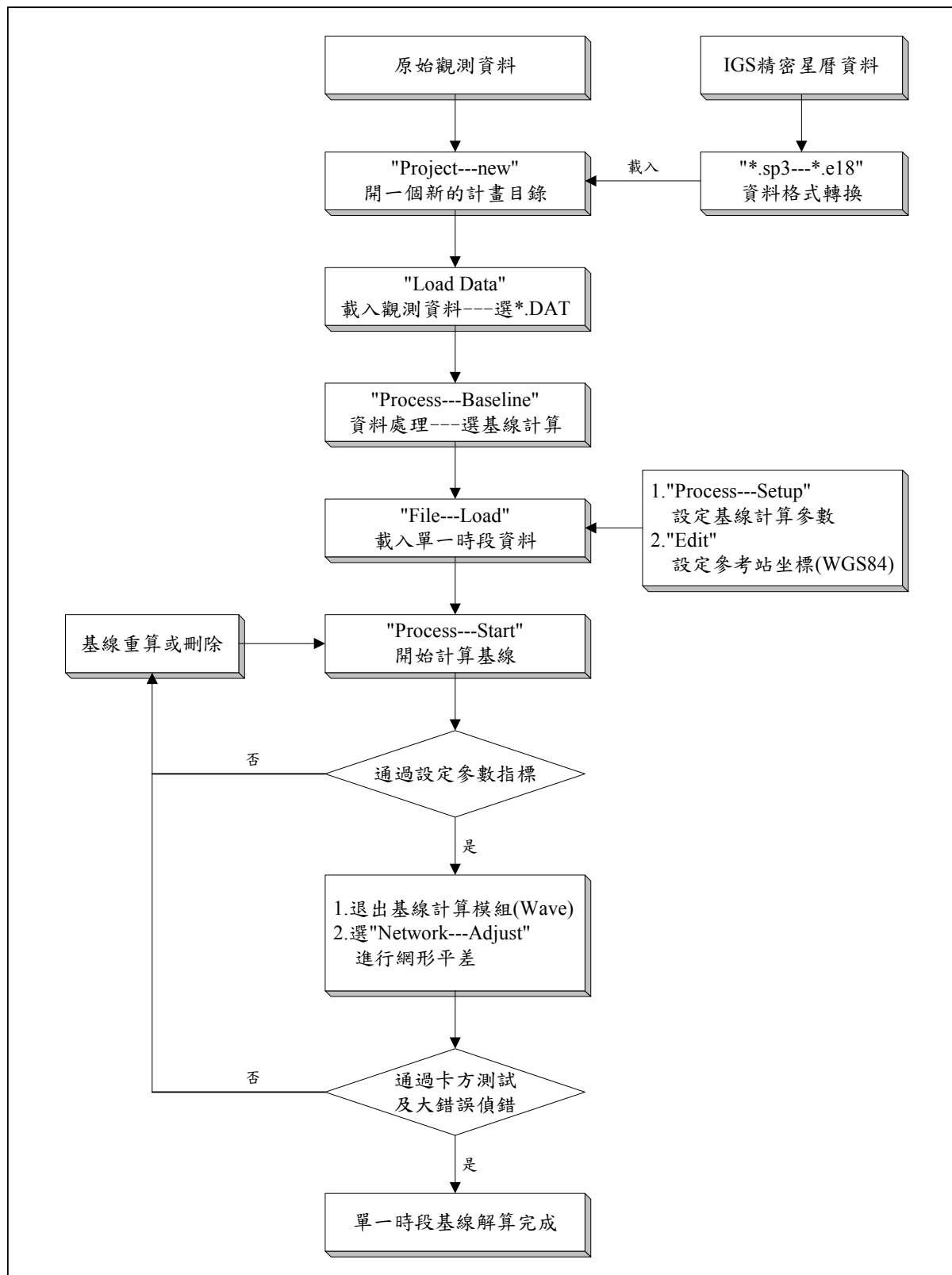


圖 4-4 GPSurvey V2.35 版基線解算流程圖

§4-5-2 Turbo-NET 單一時段網形平差

在使用 GPSurvey V2.35 版軟體完成單一時段的基線向量計算後，接著便進行該時段的網形初步平差，因為只固定網系中某一個控制點之 TWD97 坐標，不會導致網形有額外的變形張力，如此可以檢核網系本身的內在精度，也可以進行大誤差的剔除及審視是否尚有明顯的系統誤差存在。其主要的篩選依據是權單位中誤差及各觀測基線分量的改正數大小，此二者均屬於基準約制的不變量，不因選擇起始計算基準的不同而有所差異。

因此，在作法上先整合所有基線向量及協變方矩陣為單一網系，進行平差計算，但由於 GPS 基線向量本身就具有方位角與尺度，所以最小約制平差只固定網系中一組點位坐標，作為網系坐標的起算基準。最後於進行成果分析時，再查驗平差後之點位中誤差、坐標分量之中誤差及相對精度是否符合規範需求。

而進行網形平差時所使用的程式為 Turbo-NET V2.3 版商業軟體，它利用統計學上的 τ 測試對個別觀測量分析判斷， τ 值即是標準化改正數，其根據改正數除以後驗估計的改正數標準偏差而得，如此便可在平差過程中針對解算不佳的基線進行過濾。

所以在 Turbo-NET 網系平差輸出成果中，除了一組網系坐標值及其中誤差之外，並有各觀測基線向量的改正數及其標準化改正數，作為偵除基線向量是否有錯誤或大誤差的參考指標，在實際作法上可將決定刪除的基線以人工加註“E”記號，於重新平差時該基線向量即視為剔除而不參與平差，所列改正數也不參與統計分析，只做為大誤差的顯示。

而經過上述作法進行單一時段的網形初步平差，可判定個別小網系中的基線分量是否錯誤，而是否需重新進行基線向量計算，或是將錯誤的基線向量直接予以剔除，避免於爾後進行整體網形平差時，存在有許多錯誤基線向量，影響整個平差的過程。

而使用 Turbo-NET V2.3 版進行單一時段最小約制平差計算流程如圖 4-5。由圖 4-5 的平差流程中，我們明確界定單一時段的網形平差的目的是在於充分檢核每一時段所解算基線成果是否可靠，雖然基線解算軟體 GPSurvey 2.35 為一解算成功率相當高的軟體，但經由單一時段的網形平差可判斷出軟體在解算基線的過程中是否有誤判的情形發生，或是產生解算品質不佳的基線，經由此種方法，可以確保每一個時段所解算的基線向量的可靠程度，避免在後續進行整體網形平差時，增加處理工作的困難及造成後續平差成果品質的下降。

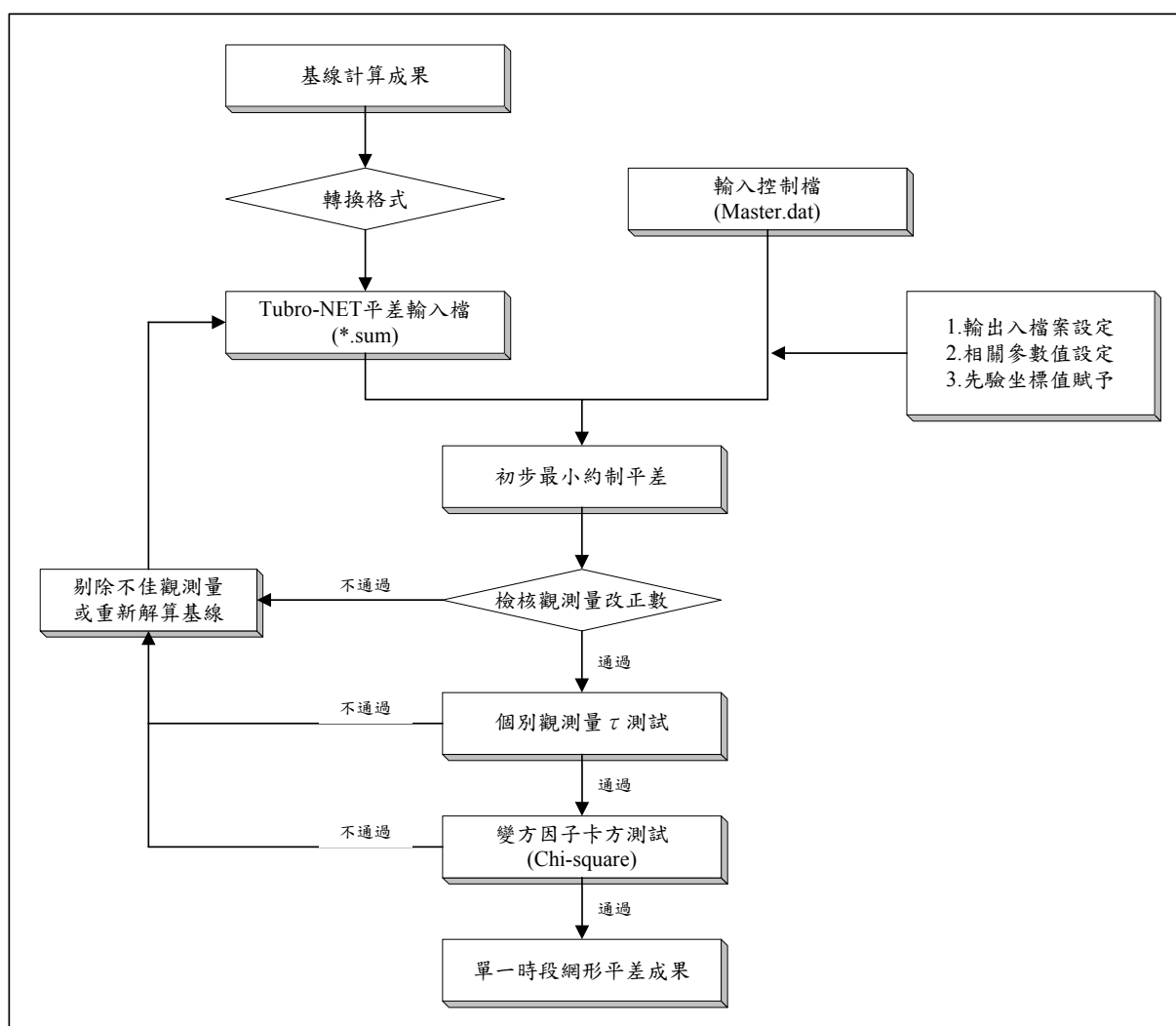


圖 4-5 TurboNET 單一時段網形平差作業流程圖

§4-5-3 基線解算成果

而對於八個作業區域而言，每一個區域的觀測時間約 3 小時左右，且平均基線長度約在 2~5 公里左右，因此於基線計算上採用 GPSurvey V2.35 版來進行解算，則各區基線解算成果統計如表 4-2~表 4-9。

而從表 4-2~表 4-9 中我們了解到，本次八個作業區中，基線解算的成功率平均約在 98%左右，最差的馬祖地區也達 96.70%，相較以往年度三等控制點檢測平均僅介於 75%~85%，明顯解算成功率大幅提昇，以三等點及水準點平均的距離均在 2 公里左右，會有如此較佳的成果而言，應是本次水準點測量觀測時間較長的原故(水準點同步觀測 3 小時，三等點 1.5 小時)。

表 4-2 澎湖基線計算成果統計表

名稱	數量(率)
觀測總時段數	15
計算點數	101
全組合基線數	884
實際解算基線數(率)	871(98.53%)
解算失敗基線數(率)	13(1.47%)
最長同步觀測時間(最短同步觀測時間)	04:25(03:03)
Ratio 最大值(最小值)	152.9(3.0)

表 4-3 七美基線計算成果統計表

名稱	數量(率)
觀測總時段數	2
計算點數	11
全組合基線數	110
實際解算基線數(率)	110(100%)
解算失敗基線數(率)	0(0%)
最長同步觀測時間(最短同步觀測時間)	03:30(03:01)
Ratio 最大值(最小值)	234.1(3.1)

表 4-4 望安基線計算成果統計表

名 稱	數量 (率)
觀測總時段數	3
計算點數	10
全組合基線數	63
實際解算基線數 (率)	62 (98.41%)
解算失敗基線數 (率)	1 (1.59%)
最長同步觀測時間 (最短同步觀測時間)	07:08 (03:00)
Ratio 最大值 (最小值)	85.8 (5.8)

表 4-5 金門 (大金門、小金門) 基線計算成果統計表

名 稱	數量 (率)
觀測總時段數	15
計算點數	99
全組合基線數	860
實際解算基線數 (率)	849 (98.72%)
解算失敗基線數 (率)	11 (1.28%)
最長同步觀測時間 (最短同步觀測時間)	04:53 (03:00)
Ratio 最大值 (最小值)	103.2 (3.0)

表 4-6 馬祖 (南竿、北竿) 基線計算成果統計表

名 稱	數量 (率)
觀測總時段數	8
計算點數	50
全組合基線數	455
實際解算基線數 (率)	440 (96.70%)
解算失敗基線數 (率)	15 (3.30%)
最長同步觀測時間 (最短同步觀測時間)	06:19 (03:00)
Ratio 最大值 (最小值)	82.3 (3.1)

表 4-7 綠島基線計算成果統計表

名 稱	數量 (率)
觀測總時段數	2
計算點數	17
全組合基線數	132
實際解算基線數 (率)	132 (100%)
解算失敗基線數 (率)	0 (0%)
最長同步觀測時間 (最短同步觀測時間)	03:32 (03:00)
Ratio 最大值 (最小值)	65.4 (3.5)

表 4-8 蘭嶼基線計算成果統計表

名 稱	數量 (率)
觀測總時段數	6
計算點數	33
全組合基線數	269
實際解算基線數 (率)	263 (97.77%)
解算失敗基線數 (率)	6 (2.23%)
最長同步觀測時間 (最短同步觀測時間)	04:29 (03:00)
Ratio 最大值 (最小值)	285.4 (3.0)

表 4-9 小琉球基線計算成果統計表

名 稱	數量 (率)
觀測總時段數	3
計算點數	16
全組合基線數	110
實際解算基線數 (率)	110 (100%)
解算失敗基線數 (率)	0 (0%)
最長同步觀測時間 (最短同步觀測時間)	03:30 (03:01)
Ratio 最大值 (最小值)	52.9 (3.3)

§4-6 Bernese V4.2 版解算方法

§4-6-1 Bernese V4.2 版解算流程

Bernese 軟體是由瑞士伯恩大學天文研究所 (Institute of Astronomy, University of Berne) 所研發的，而於 2000 年 8 月發表現行的 Bernese V4.2 版，該軟體除了一般性 GPS 資料處理功能外，另有 BPE (Bernese Processing Engine) 可自動化處理 GPS 資料、計算軌道參數、極運動 (Polar Motion) 參數、地球轉動 (Earth Rotation) 參數、推求區域性及全球性之電離層模式、對流層折射附加參數與模擬 GPS 資料之功能。

而 Bernese 程式的主要架構有下列五個部分：

1. 資料轉換：可將 Raw Data、Rinex Data 以及 Bernese Data 之間互相進行轉換，以方便使用者進行計算。
2. 衛星軌道：可利用廣播星曆或精密星曆計算出衛星標準軌道，將衛星軌道視為已知，來求解其餘未知參數。
3. 資料處理：可以處理單頻或雙頻儀器所接收的『虛擬距離』及『載波相位』觀測資料，亦可同時求解 GPS 衛星的資訊，並可輸出法方程式，以方便多天的資料進行聯合求解。
4. 資料模擬：可根據所設定的誤差值，模擬 GPS 衛星雙頻的觀測資料。
5. 雜項工具：可以進行資料的編輯修改、合併成果坐標檔以及顯示觀測量殘差。

因此，在本計畫使用上，Bernese 具有下述特性：

1. 對於單頻及雙頻的觀測資料，計算較為快速。
2. 軟體中可針對電離層及對流層延遲效應進行修正，並提供最新的模式供使用者選擇。
3. 可進行天線盤相位中心修正，即使採用不同型號的 GPS 接收器及天線盤，亦可進行計算。
4. 可計算衛星軌道，並可以求取地球自轉參數。
5. 可進行自由網解算，計算測站坐標。

因此，使用 Bernese 軟體對於中、短距離基線的求解，其軟體中功能強大的資料處理模式可使精度及穩定度較一般的商用軟體為優，但針對此觀

測時段較短情況下，其求解成功率相形降低。而在計算過程中，繁瑣的操作模式更增加人為錯誤的比例，因此，實際計算中，必須十分小心的加以運作，整個 Bernese V4.2 版計算流程如圖 4-6。

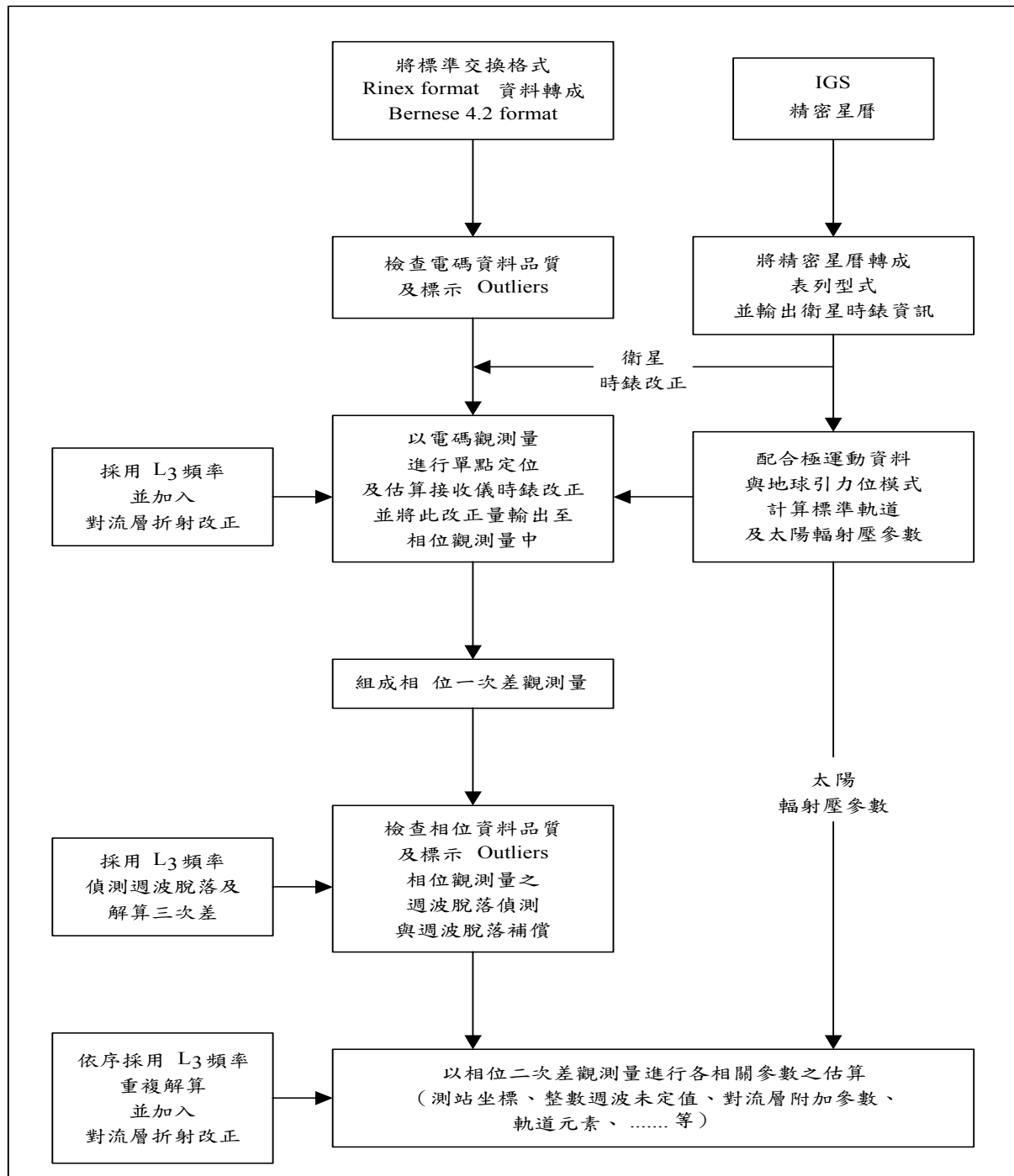


圖 4-6 Bernese V4.2 版計算流程圖

§4-6-2 24 小時聯測網解算成果

依照上述的方式進行 24 小時聯測網的計算，實際觀測時段雖僅有 4 個，但由於最後一個時段聯測時間超過 40 小時且橫跨 2 天以上，因此在計算時將其拆解為兩個時段來加以計算。表 4-10 為此次 24 小時聯測網觀測的點位及其時段。其中原本預定聯測內政部 15 個追蹤站及氣象局 1 個追蹤站，但由於內政部的淡水衛星追蹤站（DNSH）觀測資料有問題，故未加入計算，且由於作業期間內並非每個追蹤站均有資料，故某些追蹤站僅部份時段有進行聯測。總計 24 小時聯測網共計算 22 個一等水準點，12 個潮位站水準點及 15 個追蹤站，共計 49 個點。

表 4-10 24 小時聯測網觀測點位一覽表 (1/2)

序號	點名	點號	等級	觀測日期 (93 年)				
				10.7	12.19	12.25	12.29	12.30
1	金龍橋	2009	一等水準點		X	X	X	
2	尚武村	9217	一等水準點	X				
3	海堤	A087	一等水準點	X				
4	白沙	BG01	一等水準點			X		
5	后沃	BG04	一等水準點			X		
6	南滬崎頂涼亭	CM01	一等水準點		X		X	X
7	雙心石滬	CM04	一等水準點				X	X
8	東石港	FG10	一等水準點		X	X		
9	北堤派出所	G003	一等水準點		X	X	X	
10	山后	KM08	一等水準點		X	X		
11	水頭	KM25	一等水準點		X	X		
12	將軍堡	KM52	一等水準點		X	X		
13	上岐國小	KM56	一等水準點		X	X		
14	白沙	LC01	一等水準點		X			
15	福澳港	NG01	一等水準點			X		
16	西尾	NG05	一等水準點			X		
17	南竿機場	NG12	一等水準點			X		
18	蒔裡國小	PF07	一等水準點				X	X
19	外垵國小	SY09	一等水準點		X		X	X

表 4-10 24 小時聯測網觀測點位一覽表 (1/2)

序號	點名	點號	等級	觀測日期 (93 年)				
				10.7	12.19	12.25	12.29	12.30
20	水垵	WA02	一等水準點		X			X
21	望安國小	WA04	一等水準點				X	X
22	東石節點	X202	一等水準點		X	X	X	
23	南寮節點	D037	一等水準點		X	X	X	
24	高雄驗潮站	K700	潮位站水準點	X	X	X		
25	山海國小	K800	潮位站水準點	X	X	X		
26	基隆	TG01	潮位站水準點		X	X		
27	台中港	TG07	潮位站水準點		X	X		
28	高雄	TG12	潮位站水準點	X				
29	蟬廣嘴	TG14	潮位站水準點	X				
30	金門	TG72	潮位站水準點				X	
31	澎湖	TG73	潮位站水準點		X		X	
32	小琉球	TG74	潮位站水準點	X				
33	蘭嶼	TG75	潮位站水準點	X				
34	綠島	TG76	潮位站水準點	X				
35	澎湖追蹤站	PANG	氣象局追蹤站		X	X	X	X
36	嘉義衛星追蹤站	CHYI	衛星追蹤站	X	X	X	X	X
37	鳳林衛星追蹤站	FLNM	衛星追蹤站	X			X	X
38	富岡衛星追蹤站	FUGN	衛星追蹤站	X	X		X	X
39	高雄衛星追蹤站	KASH	衛星追蹤站	X	X	X	X	X
40	墾丁衛星追蹤站	KDNM	衛星追蹤站	X	X	X	X	
41	金門衛星追蹤站	KMNM	衛星追蹤站	X	X	X	X	X
42	龍洞衛星追蹤站	LND0	衛星追蹤站	X	X		X	X
43	綠島衛星追蹤站	LUDA	衛星追蹤站	X			X	X
44	馬祖衛星追蹤站	MZUM	衛星追蹤站	X	X	X	X	X
45	北港衛星追蹤站	PKGM	衛星追蹤站	X	X		X	
46	新竹衛星追蹤站	SHJU	衛星追蹤站	X		X		
47	台中衛星追蹤站	TACH	衛星追蹤站	X	X			
48	太麻里衛星追蹤站	TMAM	衛星追蹤站	X	X		X	X
49	陽明山衛星追蹤站	YMSM	衛星追蹤站	X	X	X	X	X

24 小時聯測網的觀測點位中，一等水準點 2009（點名：金龍橋）於 93 年 12 月 29 日進行觀測時，恰逢 貴局另案進行相關驗收作業，故該點依照 貴局人員指示暫時中止觀測，故當日觀測資料有部分中斷，但於最後計算時仍有加入計算。

而各時段的計算過程中，均以馬祖衛星追蹤站（MZUM）為約制點，計算各時段的成果，最後再利用 Bernese V4.2 版的 addneq 程式進行法方程式疊加，以求取最後的計算成果。

第五章 最小約制平差

§5-1 最小約制平差的方法

§5-1-1 最小約制平差流程

當完成每個單一時段的網形平差後，我們接著進行整體的最小約制網平差，而在這個階段我們同樣利用 Turbo-NET 平差程式來進行，圖 5-1 表示進行整體最小約制平差的作業流程，而詳細內容分述如后。

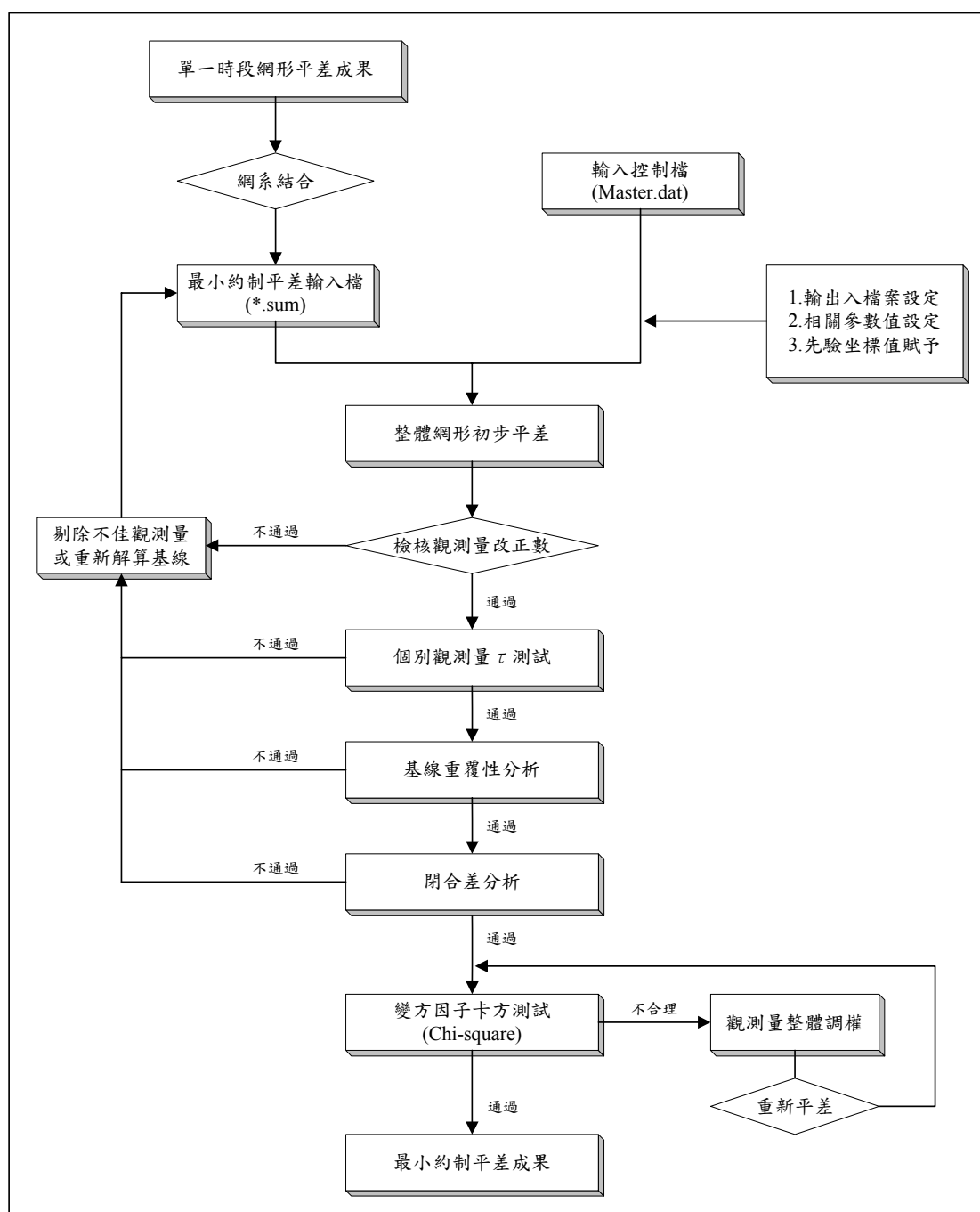


圖 5-1 最小約制平差作業流程圖

§5-1-2 整體網形初步平差

將所有經單一時段網形平差後之基線向量資料彙整成一大網，同樣利用 Turbo-NET 平差程式進行整體網形初步平差。而平差的原則為先將每條基線視為同一等級乘以同樣尺度大小的權，進行平差先剔除大誤差的基線，採用 τ 測試對觀測值進行粗差的檢驗，假設 τ 值大於一定數值時視為含有大誤差的觀測值，經數次篩選直到漸進收斂為止，此時可求得一最小約制平差初步成果。

因此在作法上，先將每條基線（觀測值）均視為同一等級乘以同樣尺度大小的權（先驗權單位中誤差為 1 的假設下），將每條基線的協變方作為權倒數代入網系平差中，進行平差別除大誤差的基線，採用 τ 測試對觀測值進行粗差的檢驗，將 τ 值大於 3 時視為含有大誤差的觀測值予以剔除，經數次篩檢直至漸進收斂為止。

而在整體網形初步平差中，可以很順利篩檢如下的錯誤，避免影響後續的平差作業：

1. 點號或儀器高的錯誤：雖然在觀測資料的預處理過程中，已經由人工篩檢的方式進行初步檢核，但在整體網形初步平差中，若發現仍有點號或儀器高的輸入錯誤，此時則必須重新回到個別時段修正錯誤，並且重新解算相關的基線。
2. 由於在單一時段的基線解算，彼此的相依性過高，因此可能產生進行單一時段網形平差時無法篩檢此類軟體誤判的情形發生，而在整體網形平差的過程中，可以檢視出此類的錯誤，以重回個別時段進行基線解算的工作。
3. 對於個別時段解算品質較差，或因人工對點、量度的誤差，在整體網形初步平差中，其觀測量改正可能較大而遭到剔除，此時必須檢視整體網形，以決定是否剔除觀測量或是重回個別時段進行基線解算的工作。

而在實際作法上，由於合約共計有十個離島，且彼此間距離甚遠，因此除金門（大金門、小金門）及馬祖（南竿、北竿）等二處各合併為一個網計算外，其餘均以各離島為單位進行最小約制平差，故總計共分為八區進行最小約制平差。

§5-1-3 各區約制點的選取原則

依照前述方法進行最小約制平差前，有一項因素是需要詳加考慮的，就是各區約制點的選取，理論上，一般均以該區已知點中等級最高的點位做為最小約制平差中的約制點，以利後續進行分析其它下級點位的變動情形。但在本次計畫中，由於各作業區零散分布在各離島中，而各區已知點檢測年代遠近不一(自 84 年至 92 年)，彼此間的系統是否一致便無法確定，因此必需加入其它的方法來輔助我們選定約制點。

所以，本計畫中利用 24 小時的聯測網來輔助我們選擇約制點，將 24 小時聯測成果與各區的觀測網結合為一進行最小約制平差(約制於馬祖衛星追蹤站)，再分析各區已知點坐標的變動情形，以利我們選擇。圖 5-2~圖 5-17 為各區約制於馬祖衛星追蹤站(MZUM)後已知點坐標的較差圖。

由圖 5-2~圖 5-17 中我們發現到，對於澎湖、七美、望安、金門及馬祖等地區而言，上級的衛星控制點與下級的三等控制點間坐標偏差均較小(約在 20mm 左右)，因此比照以往的模式，以該區最高等級的點位作為最小約制點；但對於綠島、蘭嶼及小琉球等三區，除相對於馬祖追蹤站均有數十公分以上的偏差，區內衛星控制點及三等控制點坐標偏差的量級與方向亦不相同，顯示該三區衛星控制點及三等控制點間存在不一致性，為能較符合當地的現狀，因此約制點主要考量為測區中心位置的三等控制點，表 5-1 為八個作業區最小約制平差所選定的約制點

表 5-1 各區最小約制平差約制點位一覽表

地區	約制點點名	約制點點號	等級
澎湖	紗帽山	S031	一等衛星控制點
七美	七美	S032	一等衛星控制點
望安	西洞尾	S864	二等衛星控制點
金門	金門衛星追蹤站	KMNM	衛星追蹤站
馬祖	馬祖衛星追蹤站	MZUM	衛星追蹤站
綠島	內巖	V244	三等控制點
蘭嶼	氣象台	V010	三等控制點
小琉球	琉球	T025	三等控制點

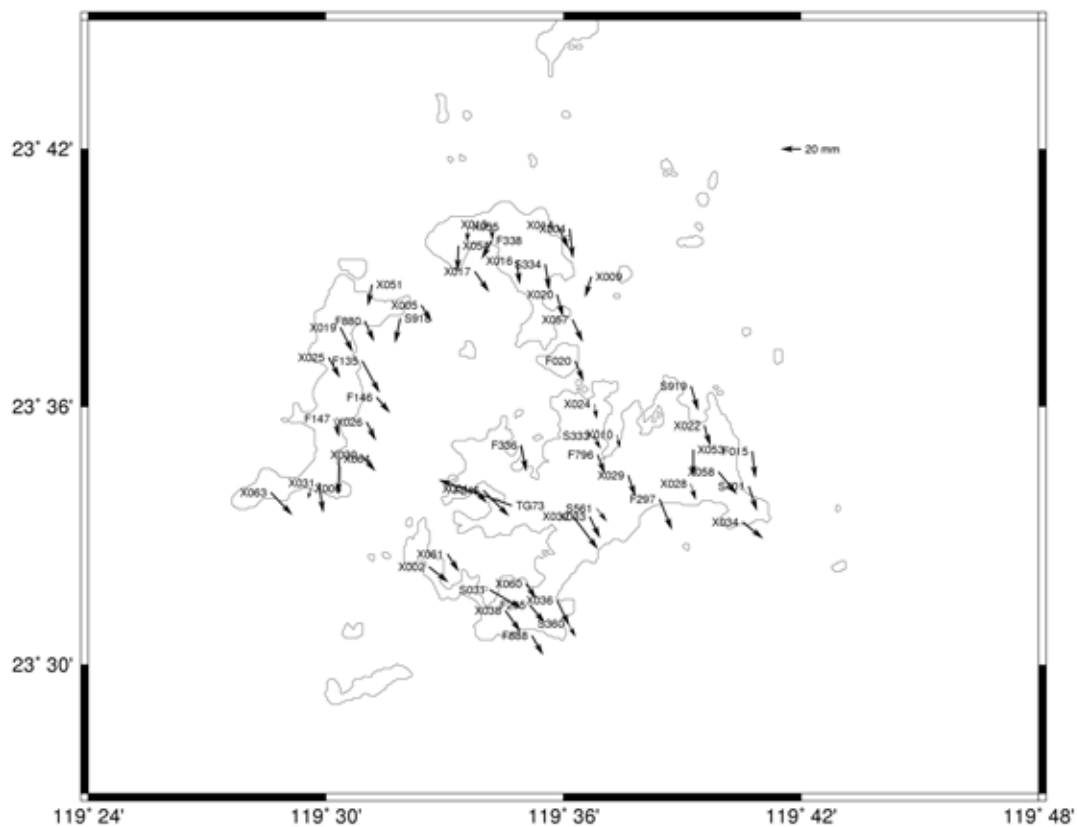


圖 5-2 約制馬祖衛星追蹤站後澎湖已知點坐標水平分量較差圖

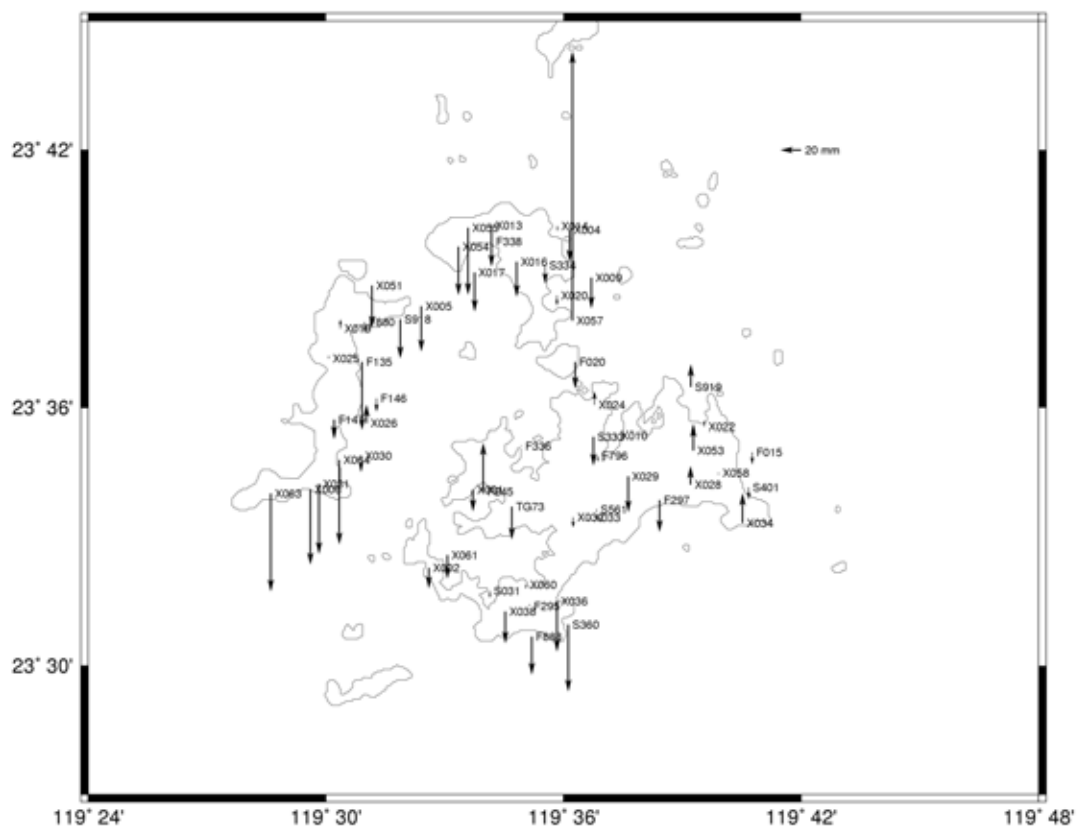


圖 5-3 約制馬祖衛星追蹤站後澎湖已知點坐標垂直分量較差圖

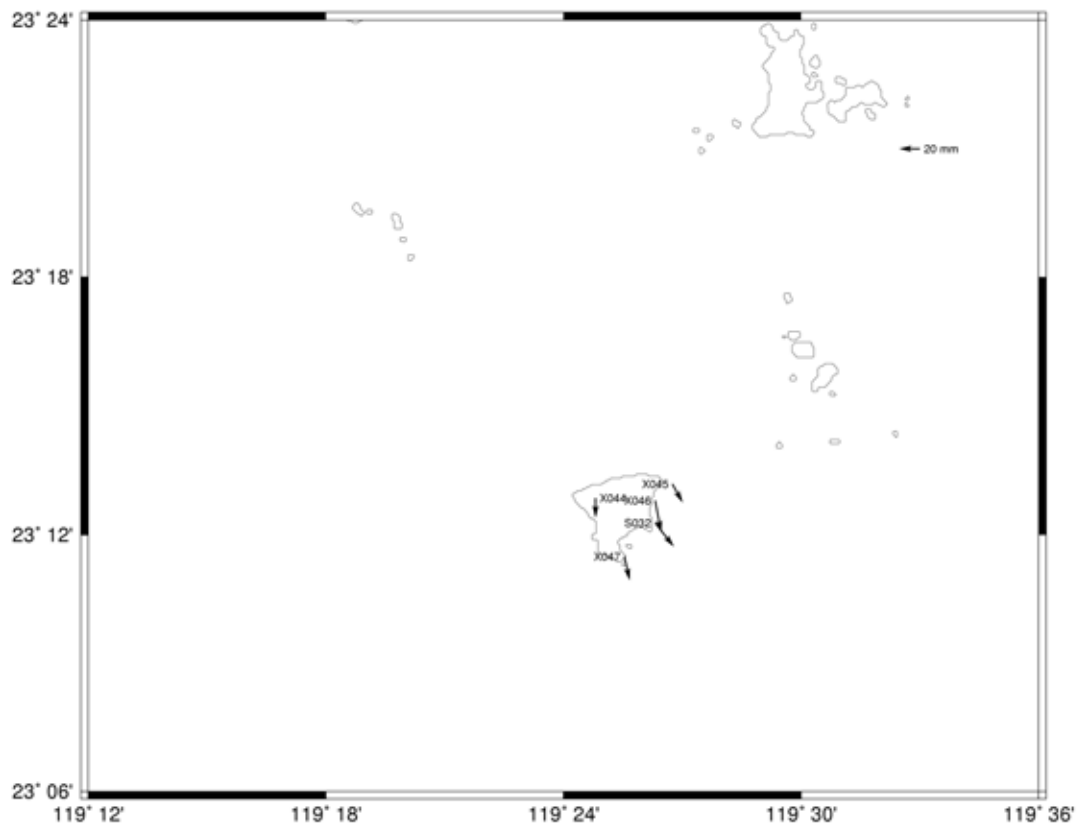


圖 5-4 約制馬祖衛星追蹤站後七美已知點坐標水平分量較差圖

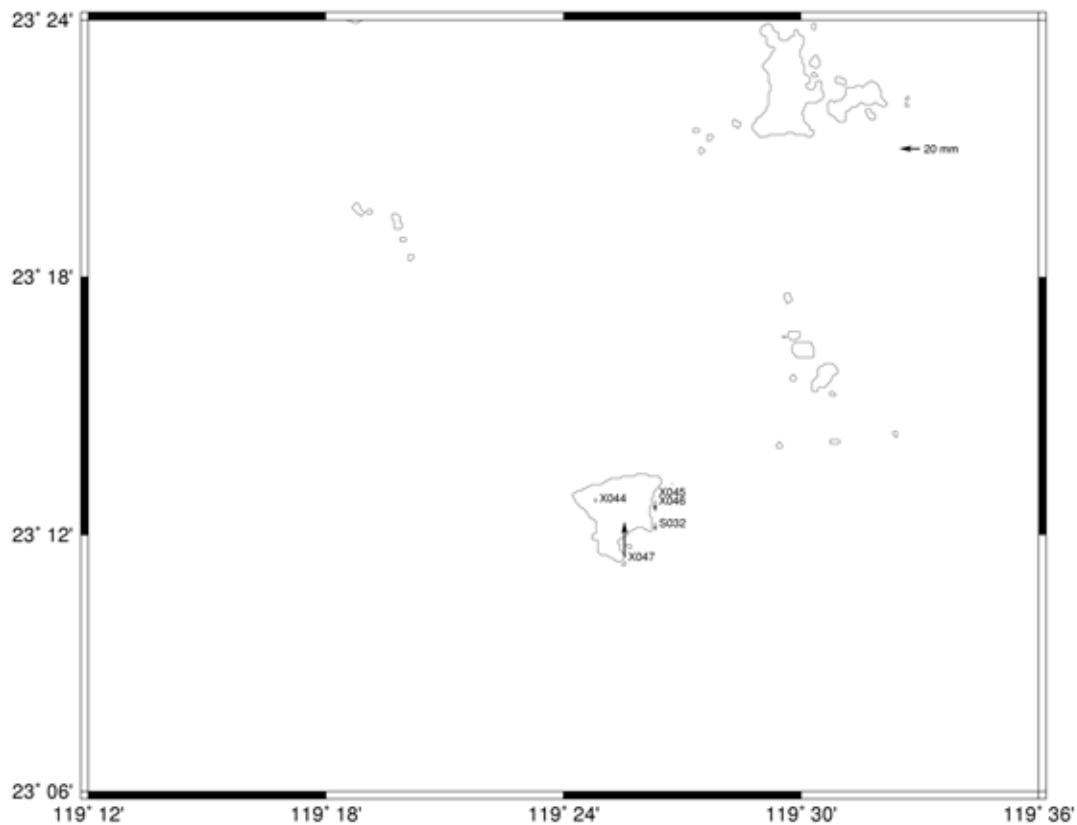


圖 5-5 約制馬祖衛星追蹤站後七美已知點坐標垂直分量較差圖

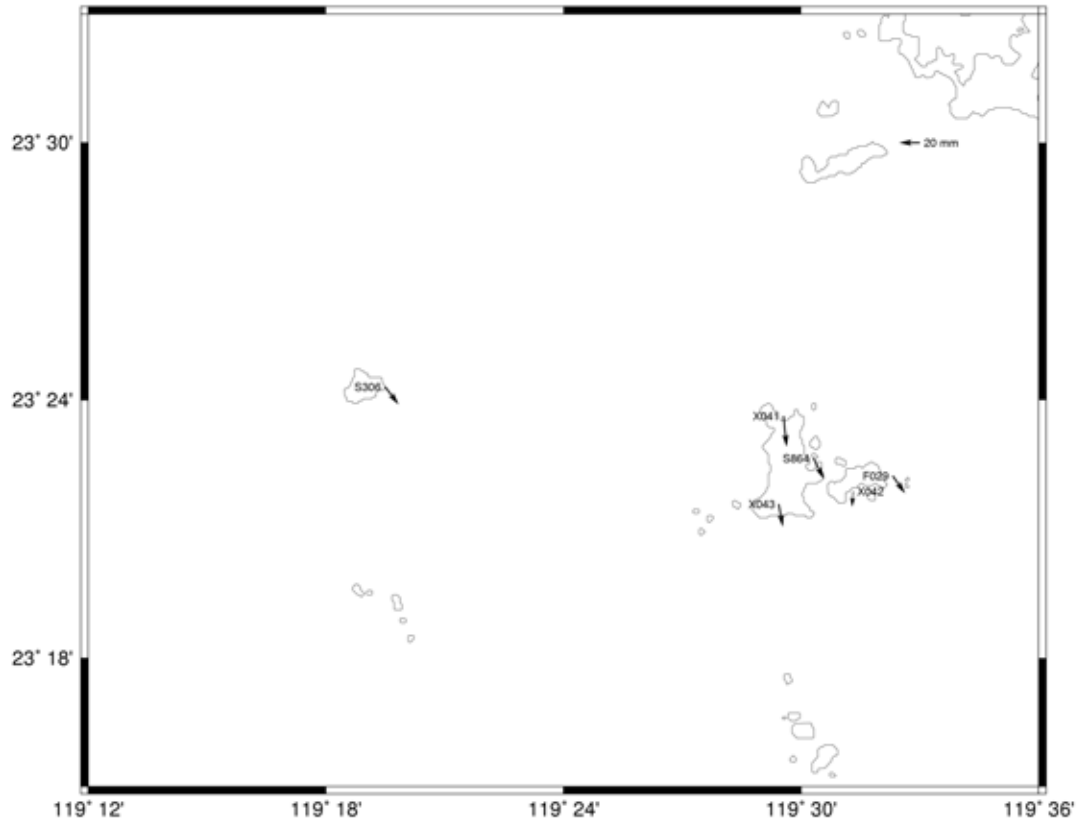


圖 5-6 約制馬祖衛星追蹤站後望安已知點坐標水平分量較差圖



圖 5-7 約制馬祖衛星追蹤站後望安已知點坐標垂直分量較差圖

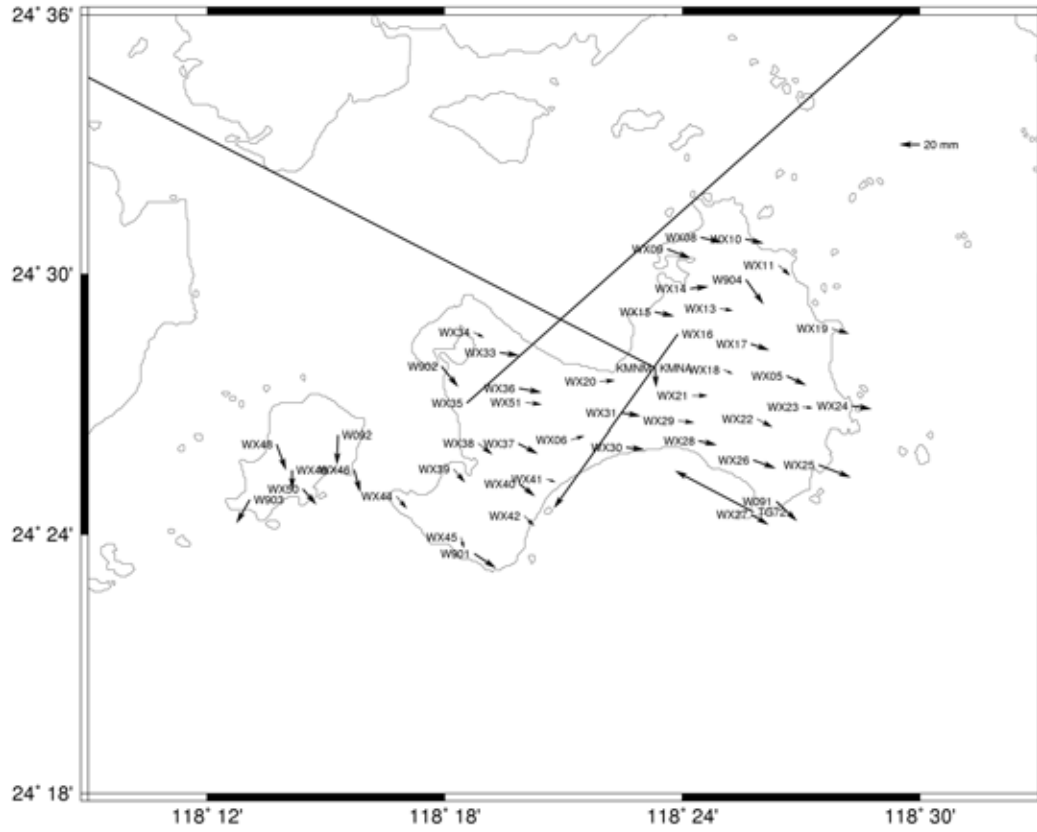


圖 5-8 約制馬祖衛星追蹤站後金門已知點坐標水平分量較差圖

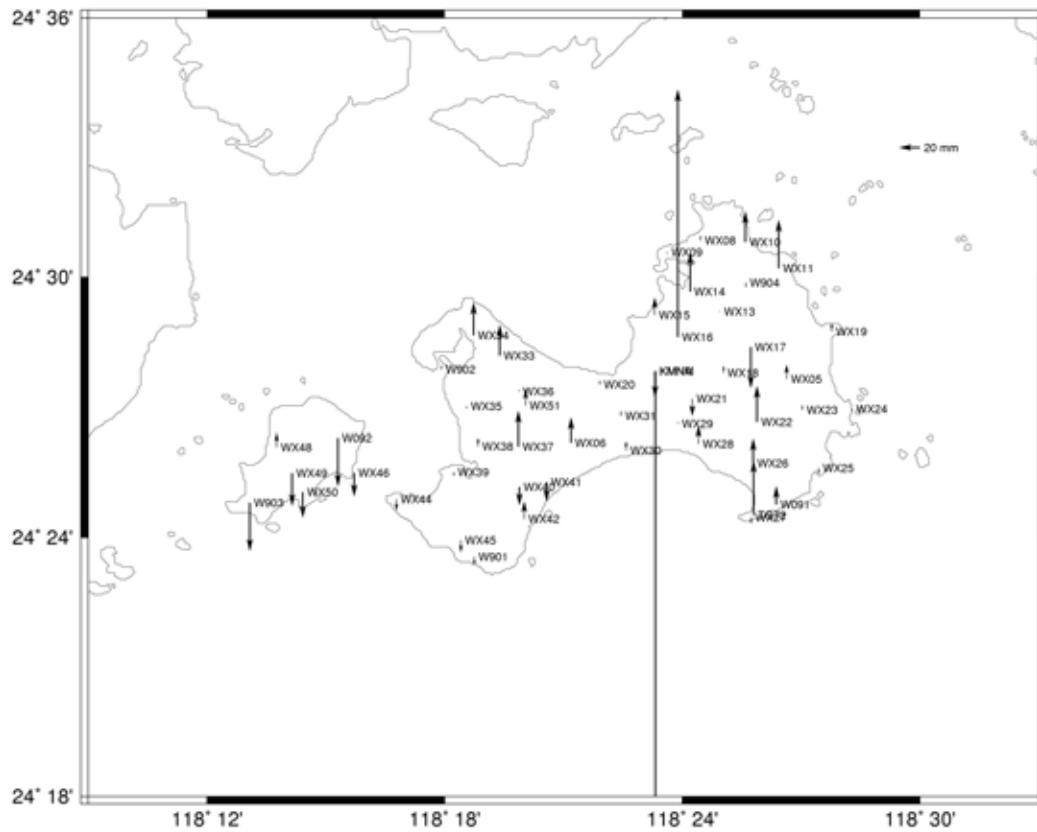


圖 5-9 約制馬祖衛星追蹤站後金門已知點坐標垂直分量較差圖

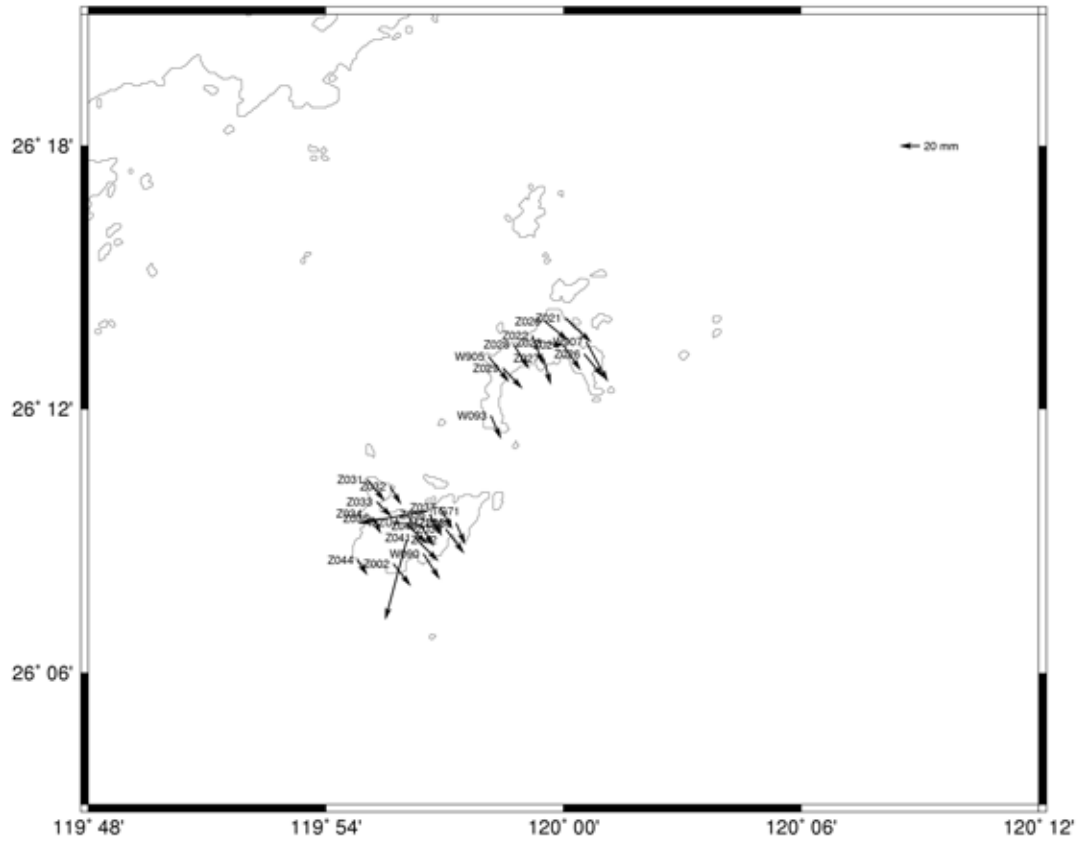


圖 5-10 約制馬祖衛星追蹤站後馬祖已知點坐標水平分量較差圖

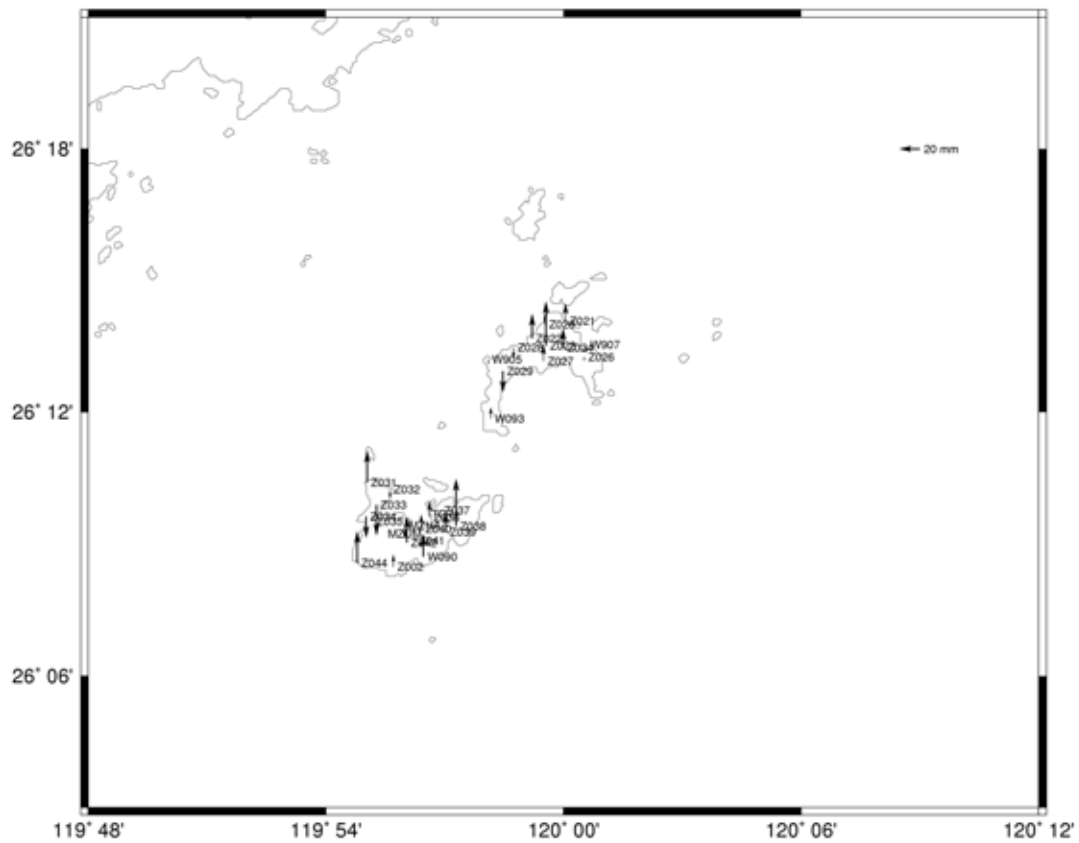


圖 5-11 約制馬祖衛星追蹤站後馬祖已知點坐標垂直分量較差圖

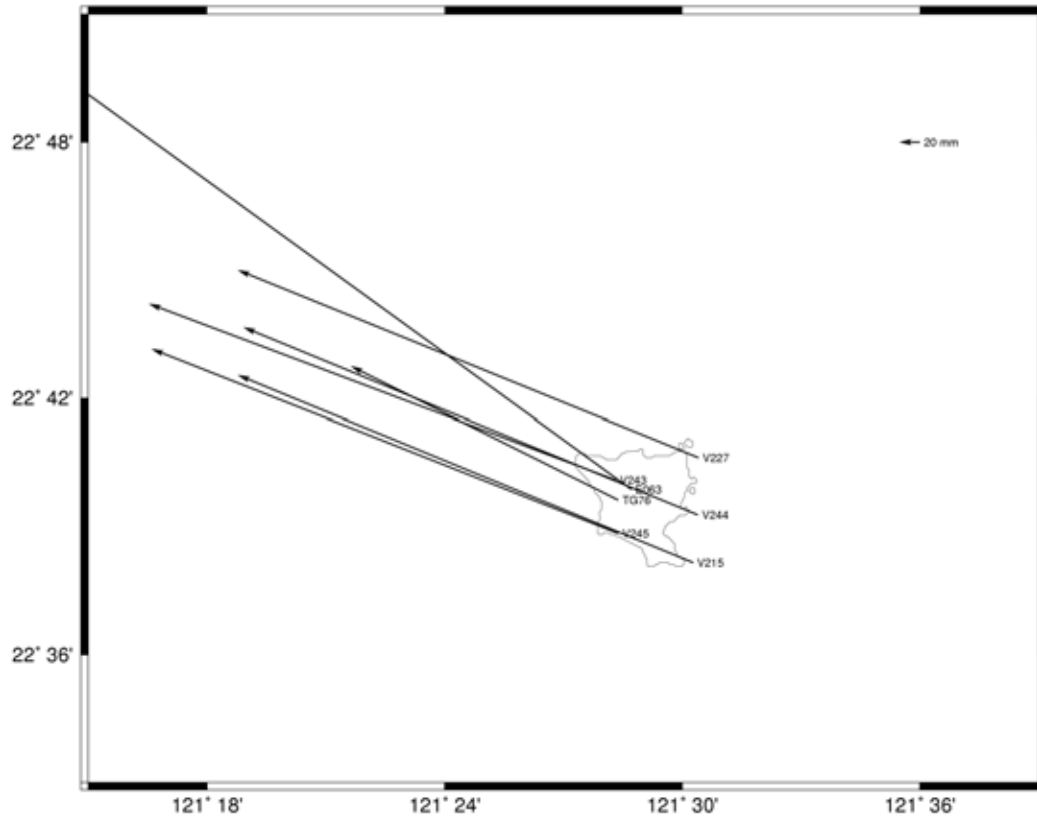


圖 5-12 約制馬祖衛星追蹤站後綠島已知點坐標水平分量較差圖

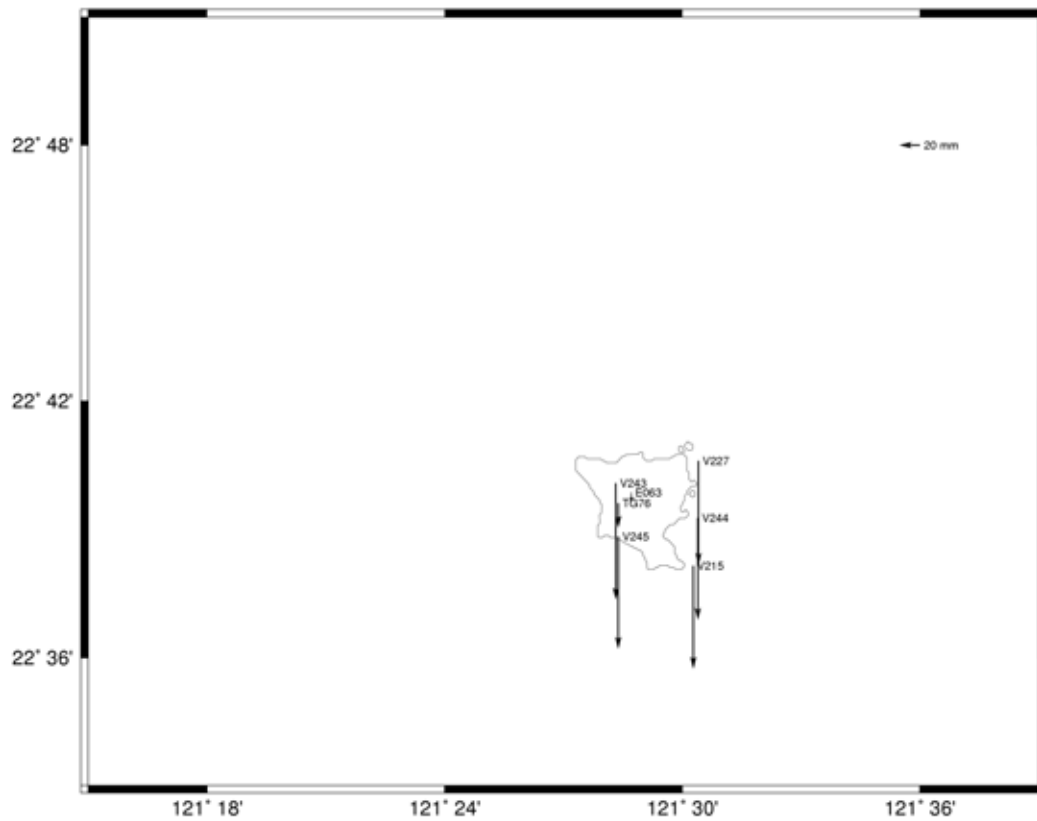


圖 5-13 約制馬祖衛星追蹤站後綠島已知點坐標垂直分量較差圖

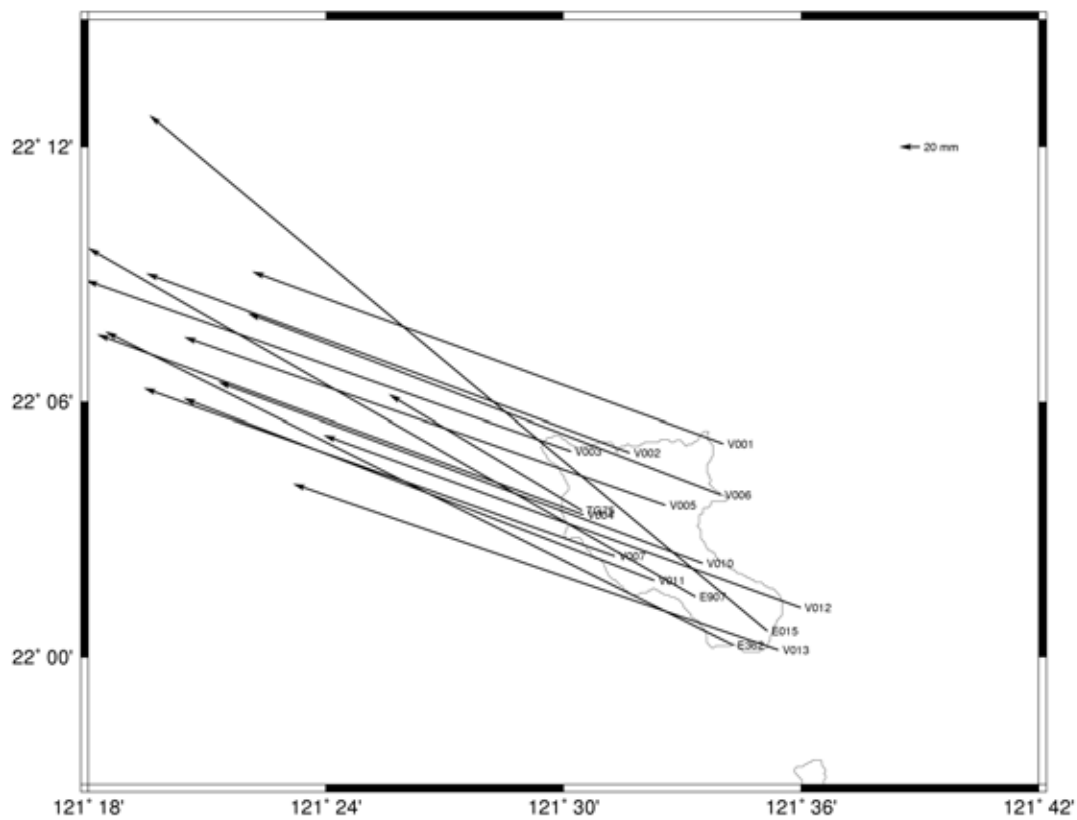


圖 5-14 約制馬祖衛星追蹤站後蘭嶼已知點坐標水平分量較差圖

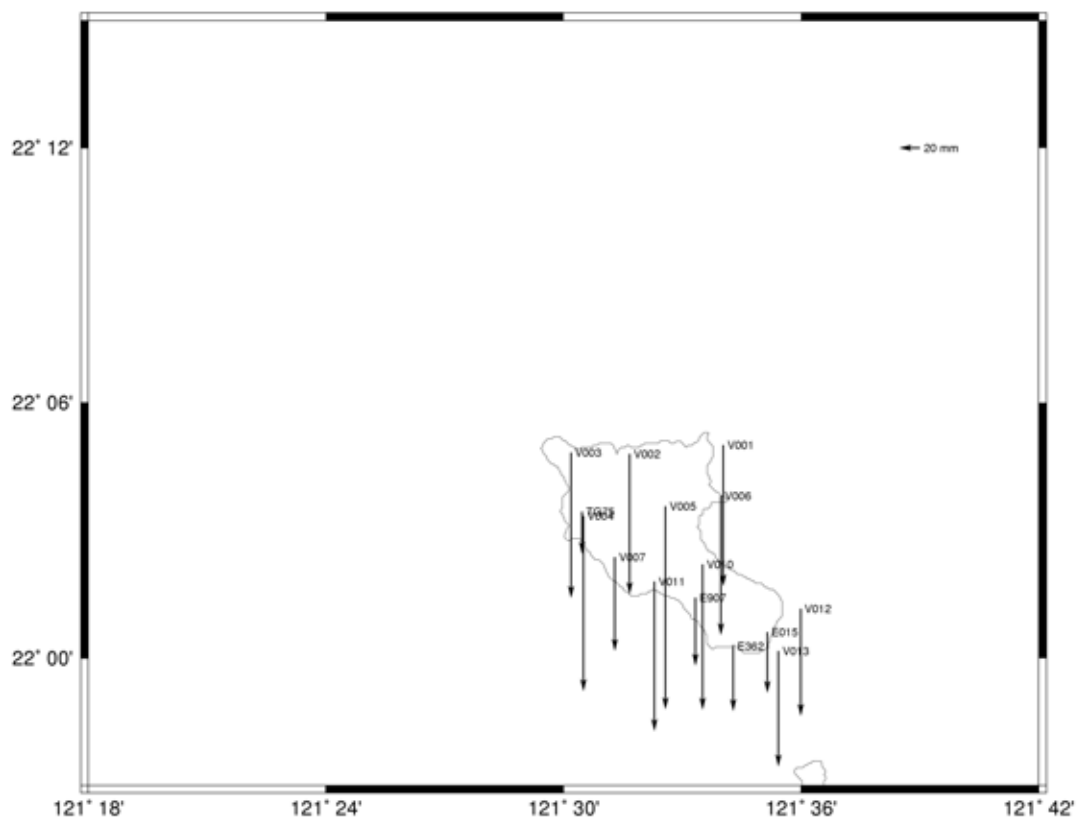


圖 5-15 約制馬祖衛星追蹤站後蘭嶼已知點坐標垂直分量較差圖

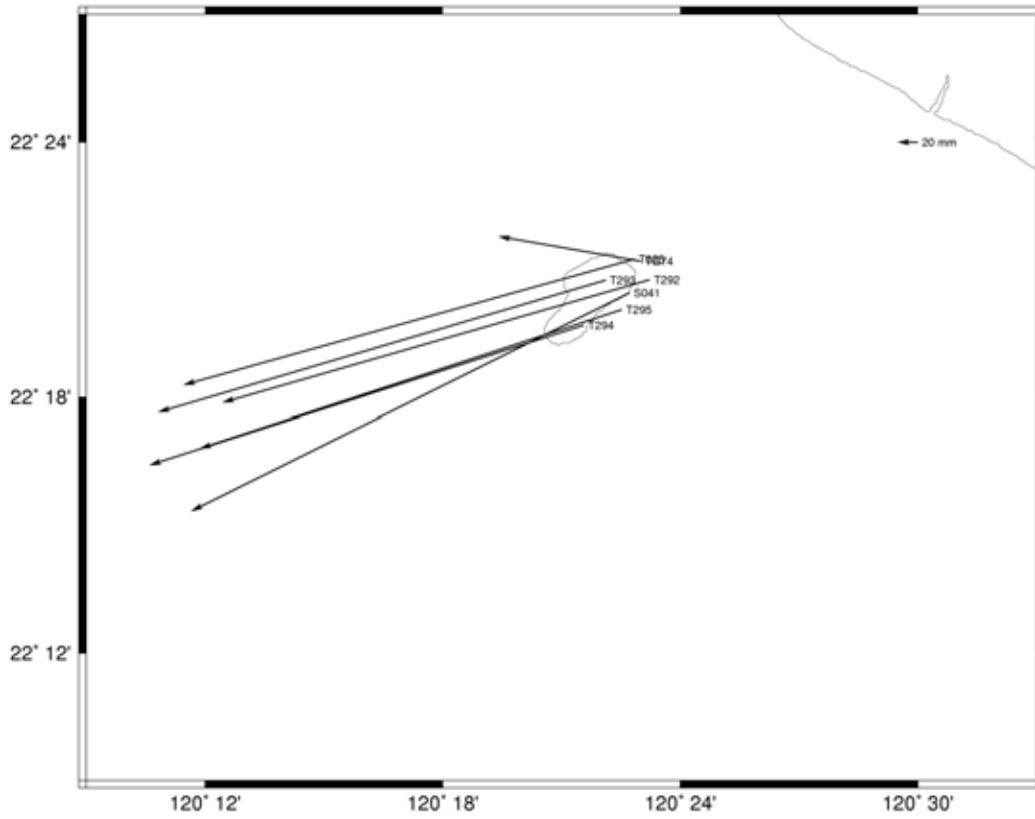


圖 5-16 約制馬祖衛星追蹤站後小琉球已知點坐標水平分量較差圖

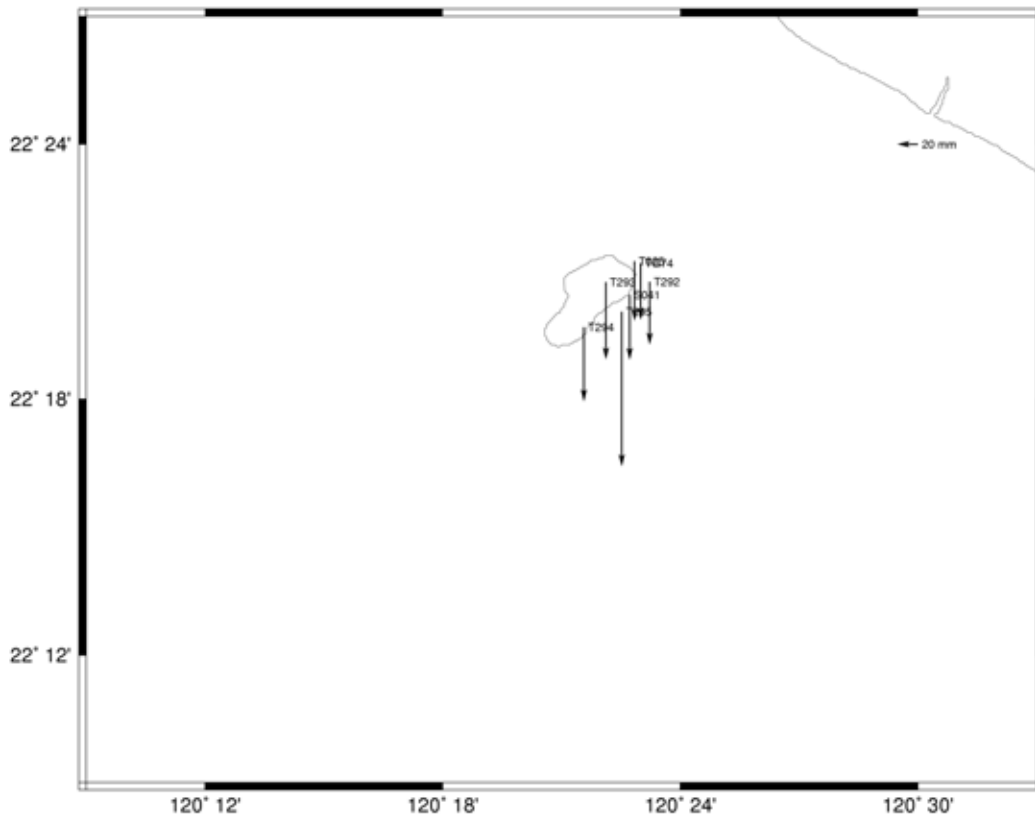


圖 5-17 約制馬祖衛星追蹤站後小琉球已知點坐標垂直分量較差圖

§5-2 基線重覆性分析

於網形初步平差後，須進行基線向量之重覆性分析，其考量的目的在增加網系的精度。精度指重覆量測之密集程度，屬於偶然誤差。而 GPS 因相對定位精度高，但僅能表示該時段兩點間的精度，但有些系統誤差及人為誤差（如儀器架設）均可能影響點位的正確性，此時若要增加基線成果的可靠程度，可利用重覆擺站的觀測方式來提高。而基線重覆性分析是判定網形內部精度的一種方法，因此利用基線重覆性分析，可以檢驗施測的正確性，以及基線解算的準確性。而基線的精度與基線的長度有關，呈線性關係，若利用簡單的線性迴歸方式來表示基線解算精度的好壞。可利用下列數學式表示：

$$R = a + b \times L$$

R 是指重覆基線較差值之絕對值

a (mm)、b (mm) 為求得之迴歸係數

L (km) 為基線長度

則依照此次檢測之施測規範而言，根據合約訂定的規範，其基線重覆性分析之檢核標準如下：

1. 重覆觀測基線水平分量之差值：不大於 20mm+4ppm
2. 重覆觀測基線垂直分量之差值：不大於 50mm+10ppm

依照上述的方法進行計算，八個作業區之重覆觀測基線統計如表 5-2，而各區重覆基線分析成果如圖 5-18~圖 5-33。

表 5-2 各區重覆觀測基線統計表

區域	澎湖本島	七美	望安	金門
重覆觀測基線數	97	55	26	100
總基線數	871	110	62	849
基線重覆率	11.14%	50%	41.94%	11.63%
區域	馬祖	綠島	蘭嶼	小琉球
重覆觀測基線數	50	21	62	20
總基線數	440	132	263	110
基線重覆率	11.36%	15.91%	23.57%	18.18%

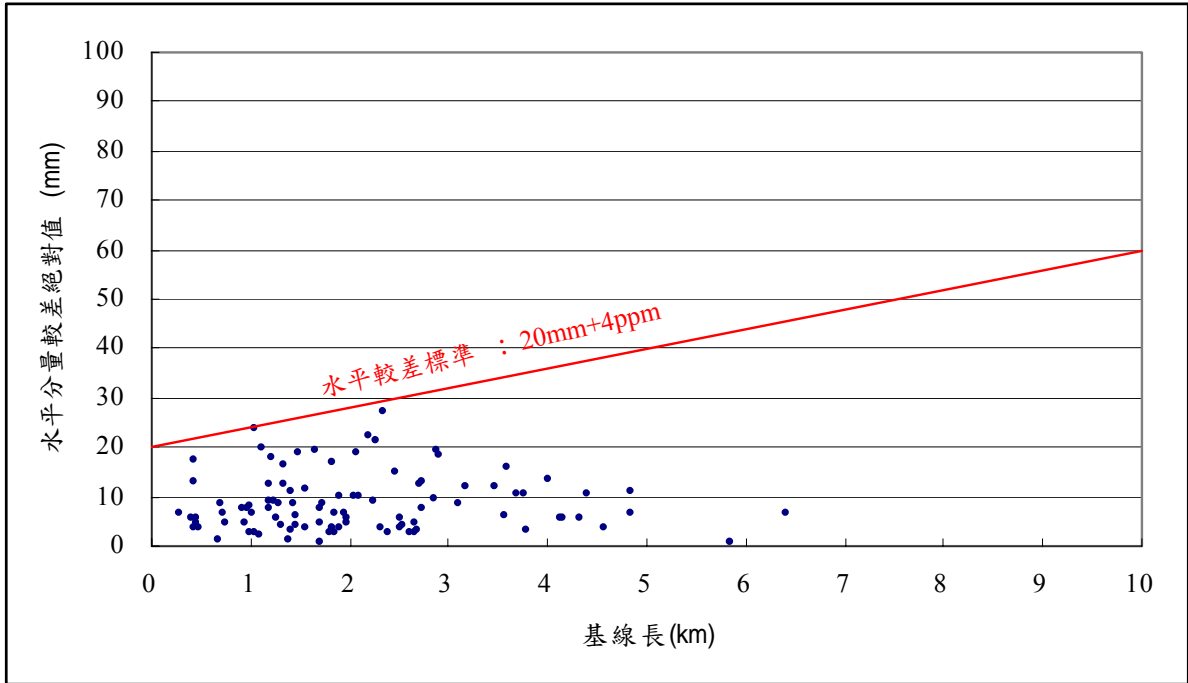


圖 5-18 澎湖重覆觀測基線水平分量較差分布圖

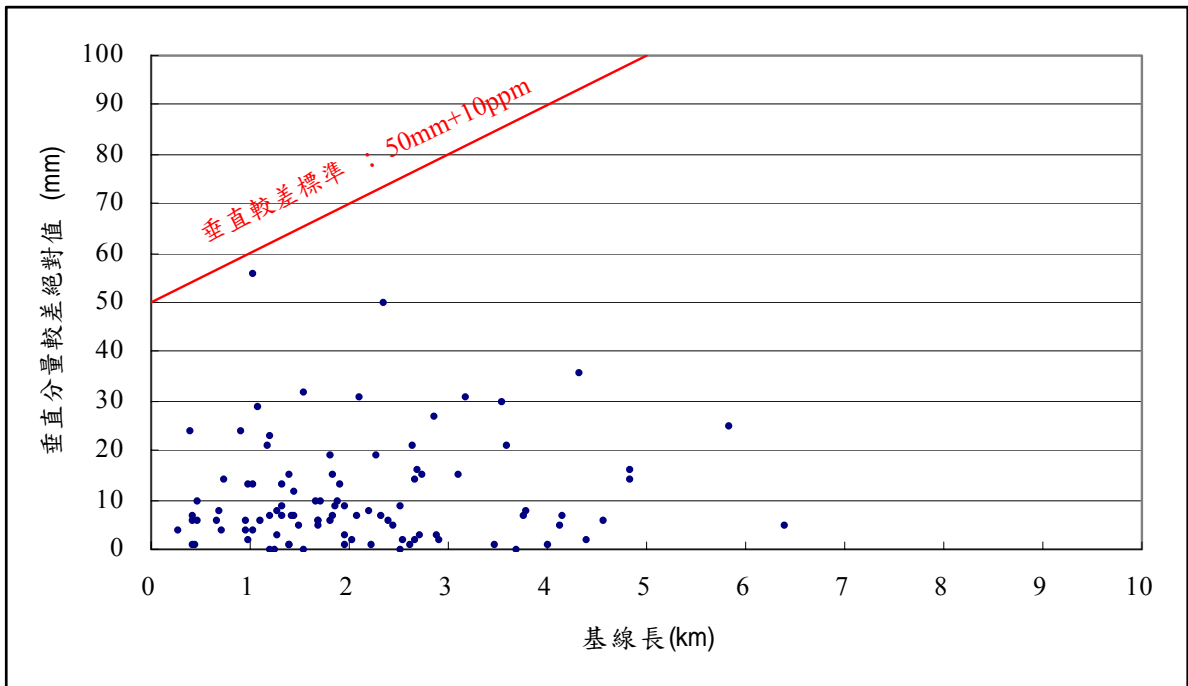


圖 5-19 澎湖重覆觀測基線垂直分量較差分布圖

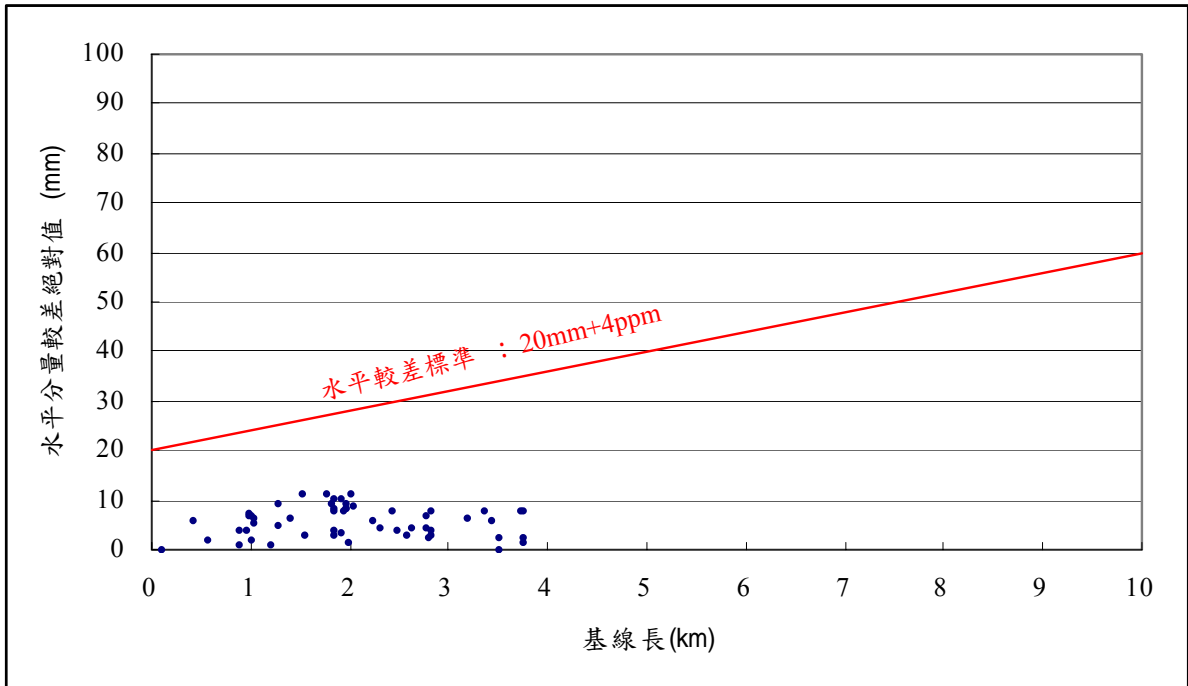


圖 5-20 七美重覆觀測基線水平分量較差分布圖

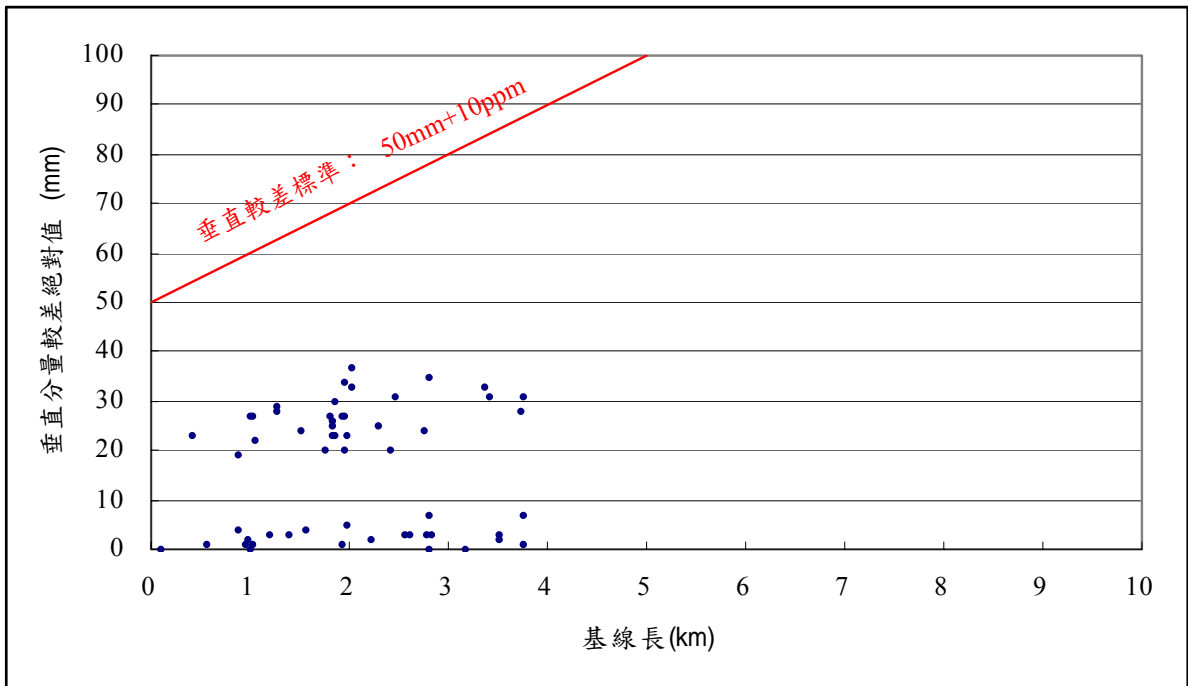


圖 5-21 七美重覆觀測基線垂直分量較差分布圖

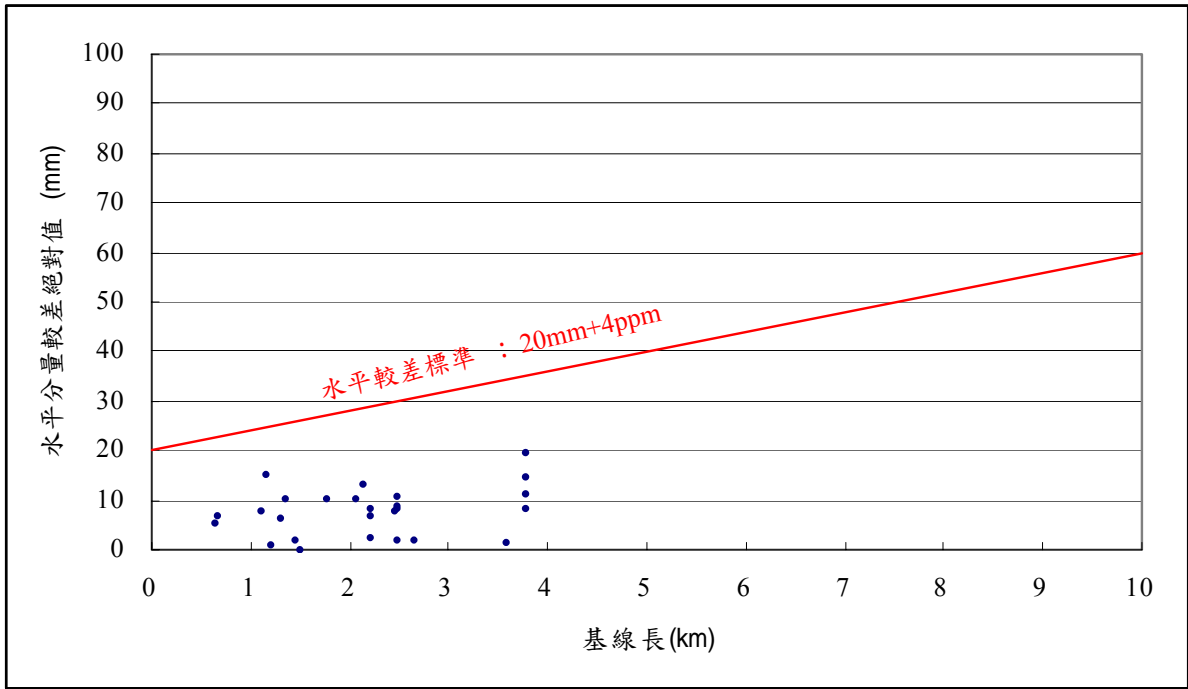


圖 5-22 望安重覆觀測基線水平分量較差分布圖

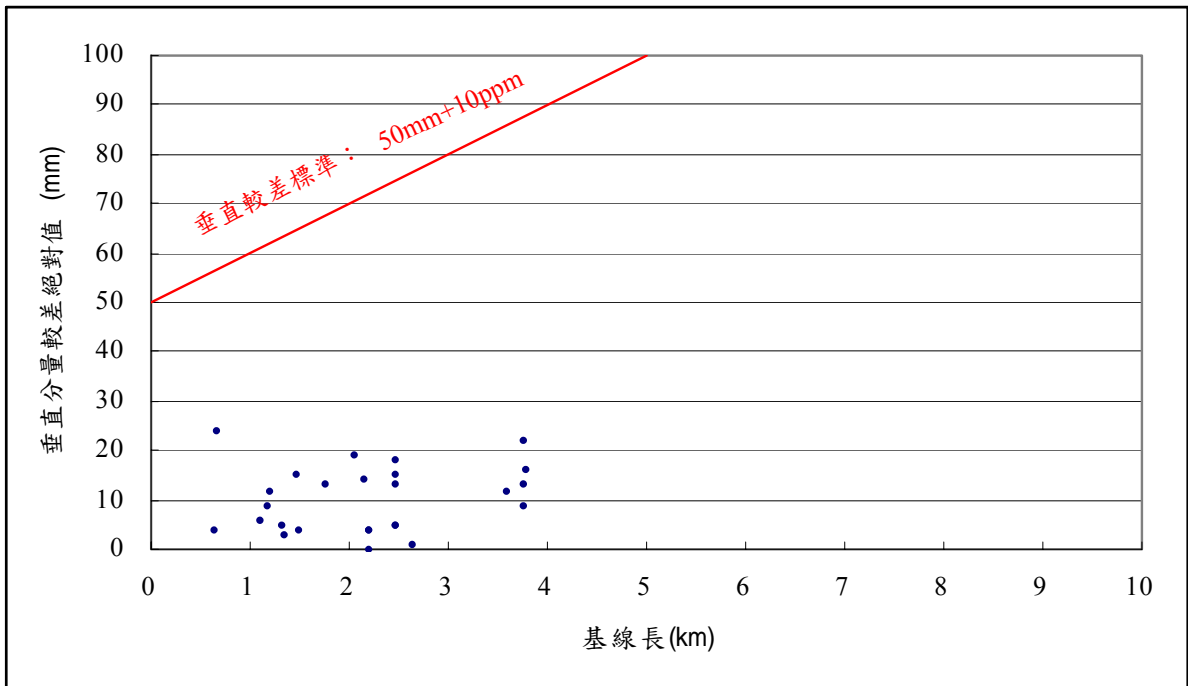


圖 5-23 望安重覆觀測基線垂直分量較差分布圖

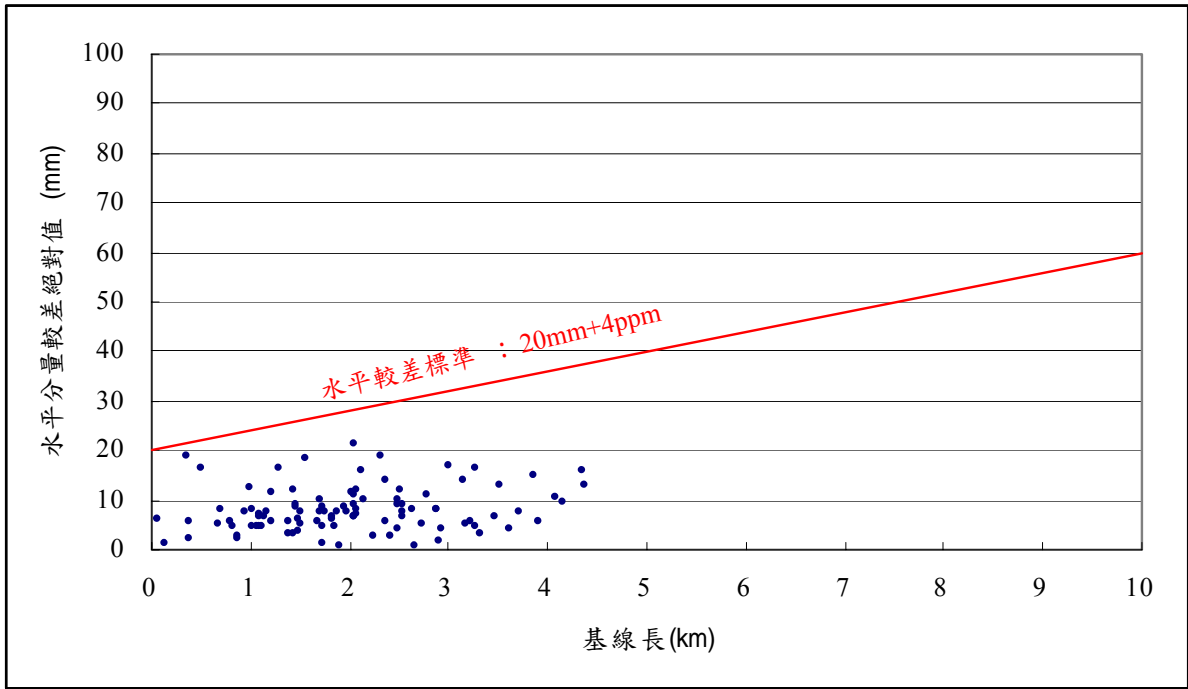


圖 5-24 金門重覆觀測基線水平分量較差分布圖

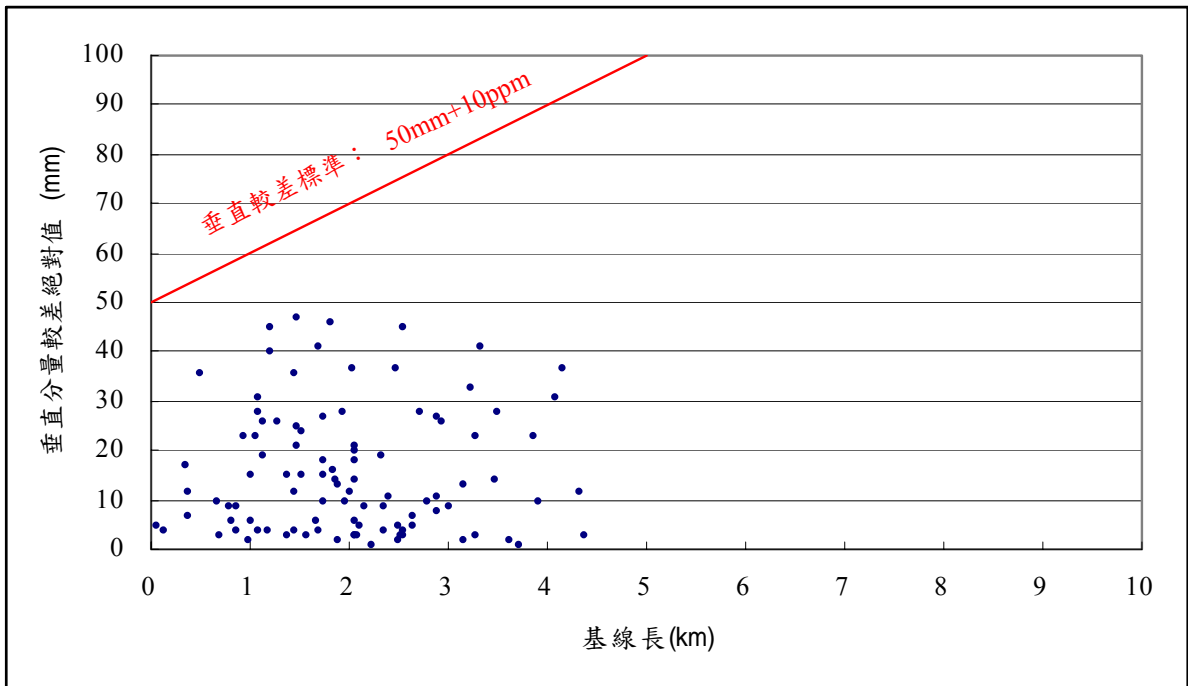


圖 5-25 金門重覆觀測基線垂直分量較差分布圖

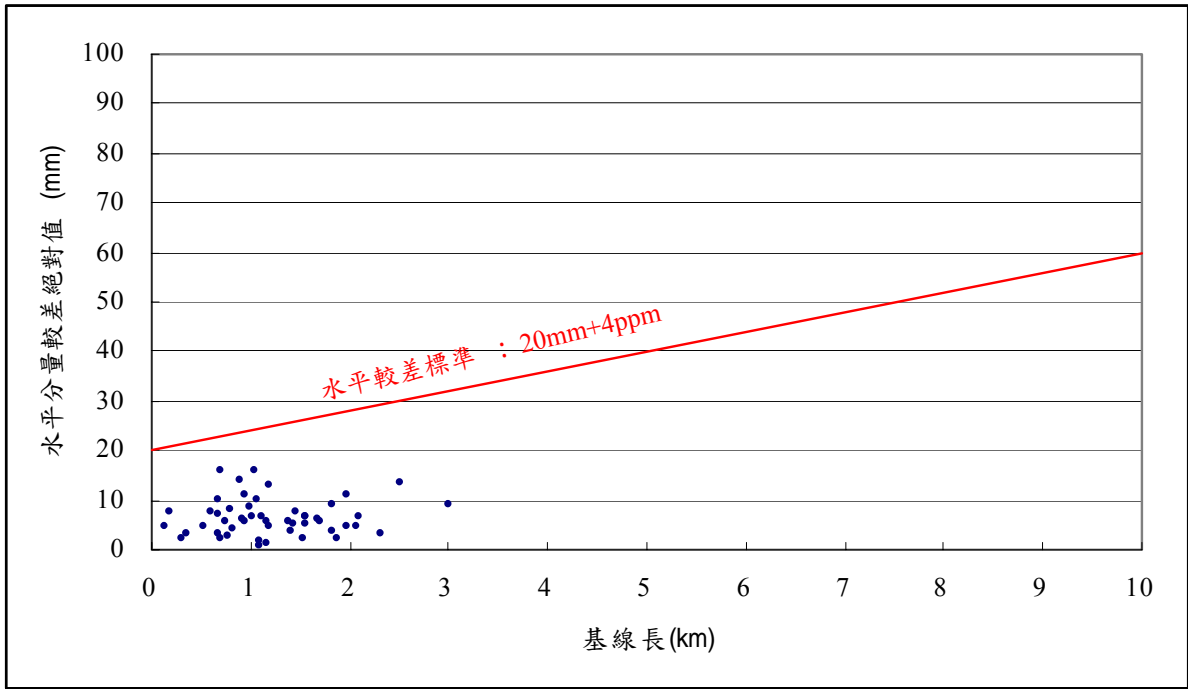


圖 5-26 馬祖重覆觀測基線水平分量較差分布圖

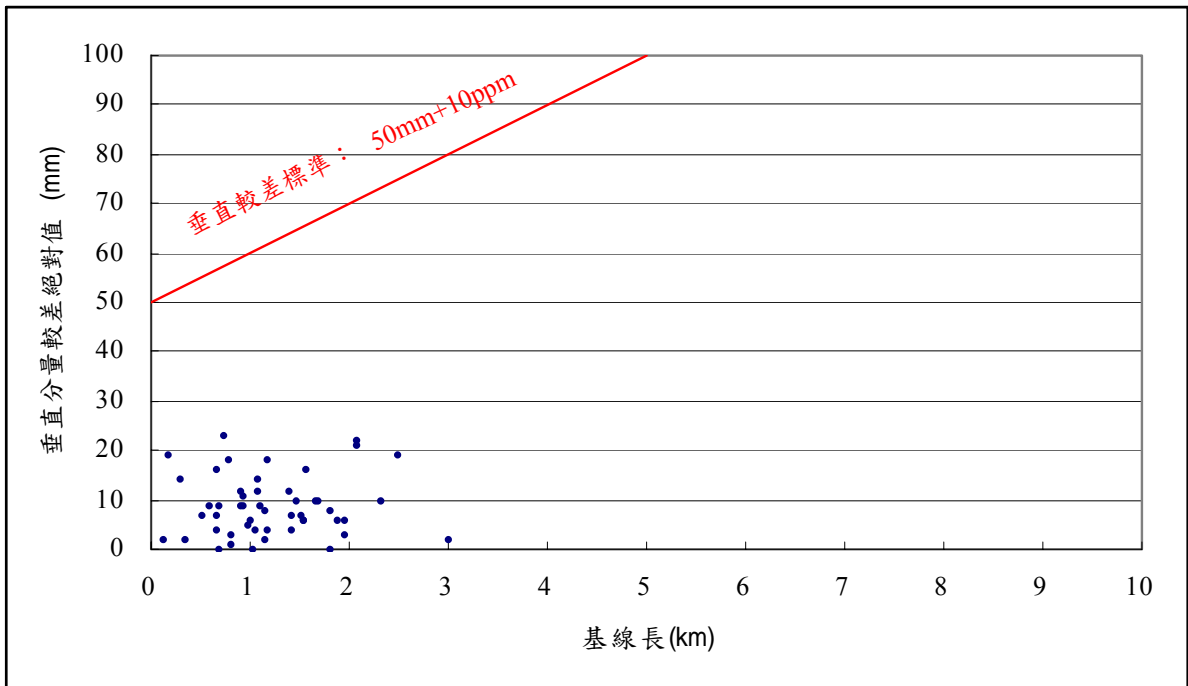


圖 5-27 馬祖重覆觀測基線垂直分量較差分布圖

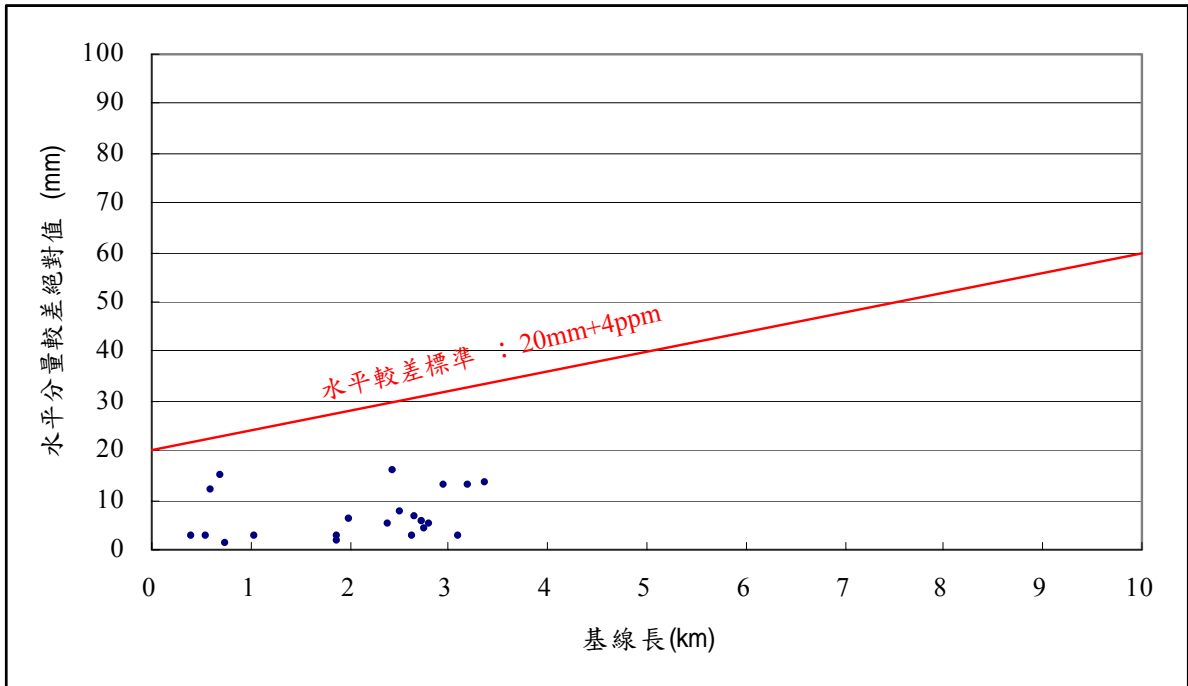


圖 5-28 綠島重覆觀測基線水平分量較差分布圖

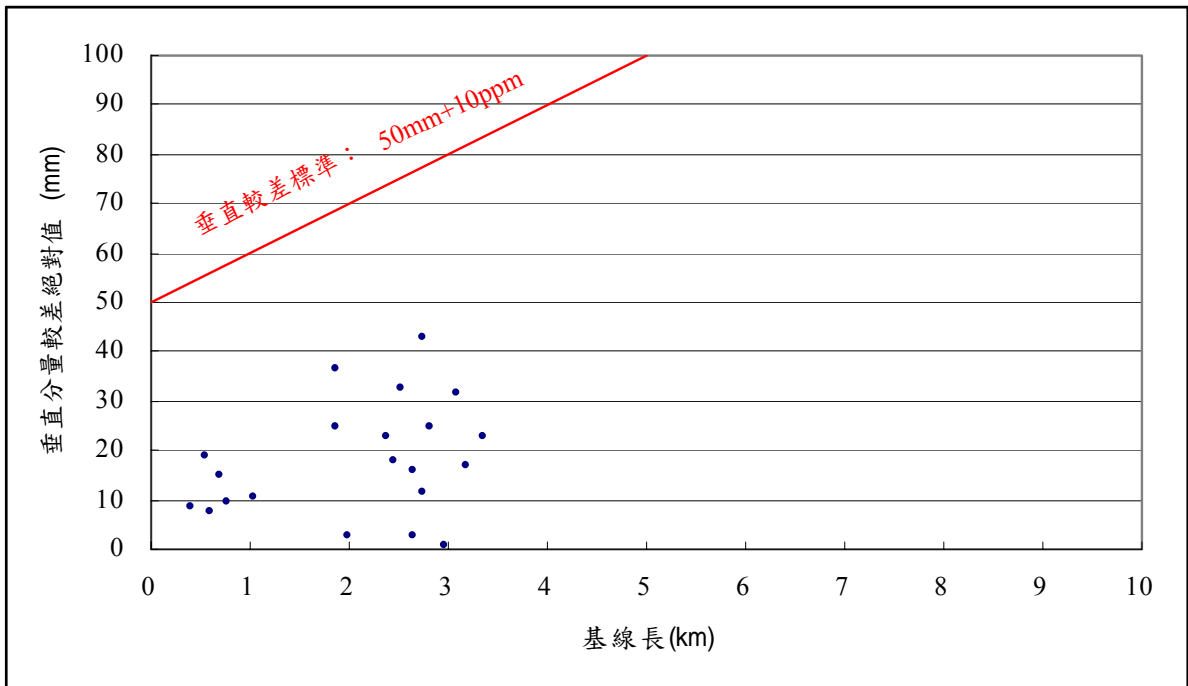


圖 5-29 綠島重覆觀測基線垂直分量較差分布圖

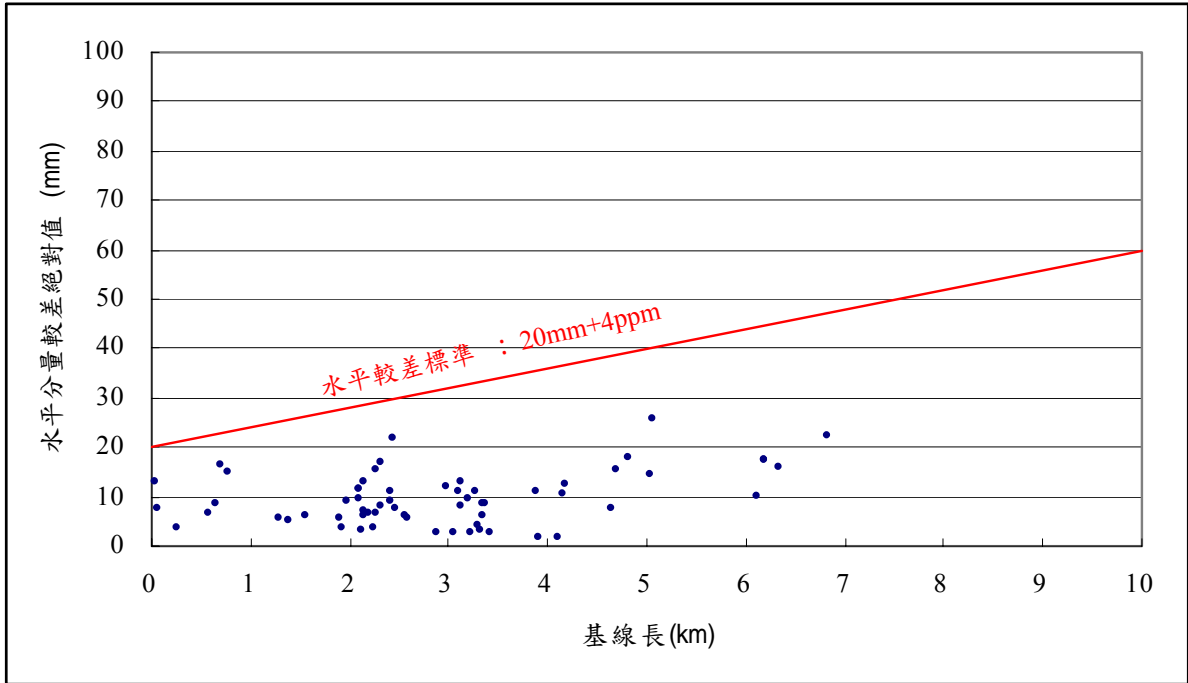


圖 5-30 蘭嶼重覆觀測基線水平分量較差分布圖

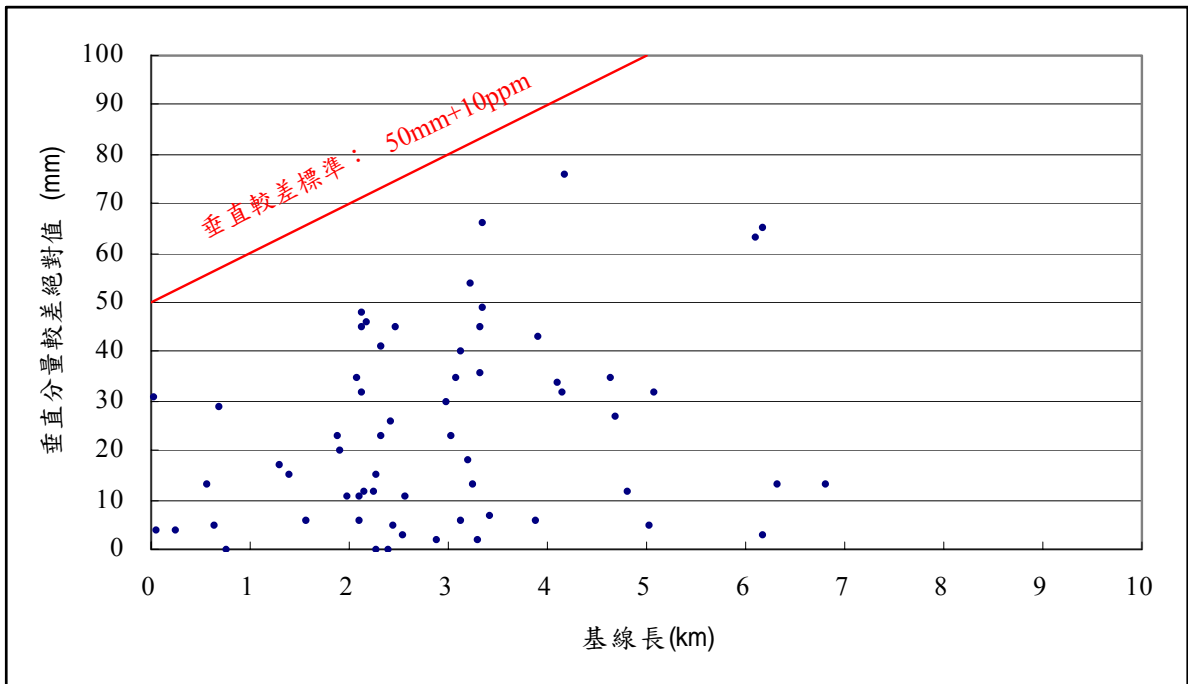


圖 5-31 蘭嶼重覆觀測基線垂直分量較差分布圖

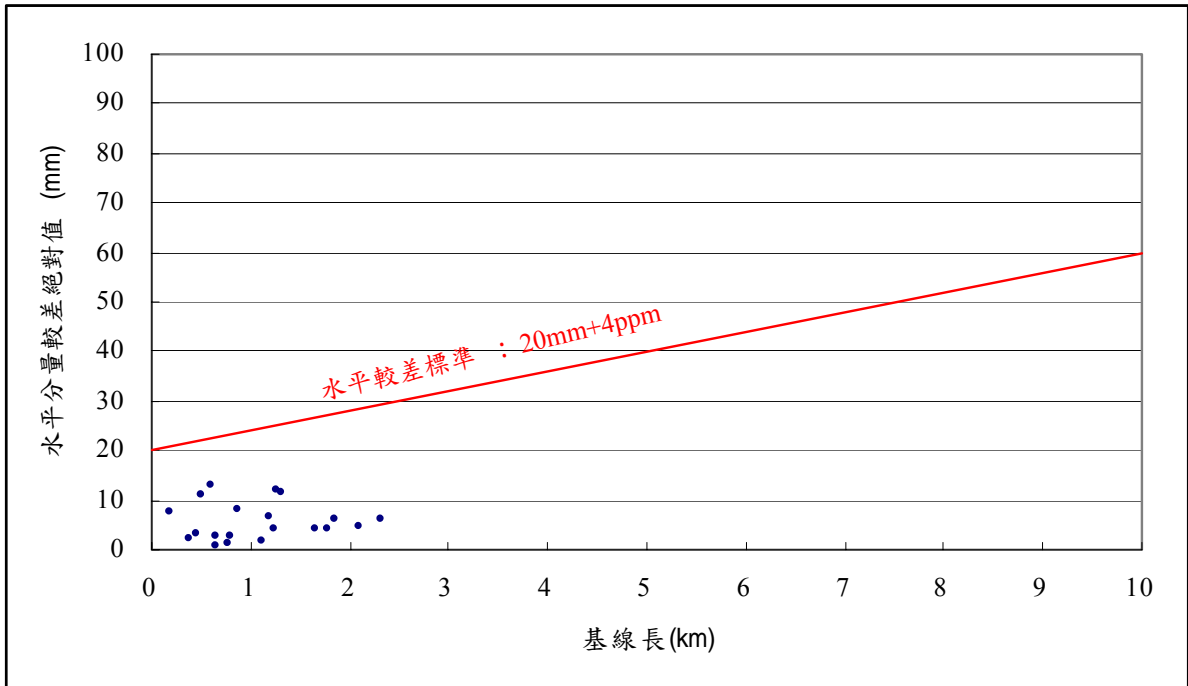


圖 5-32 小琉球重覆觀測基線水平分量較差分布圖

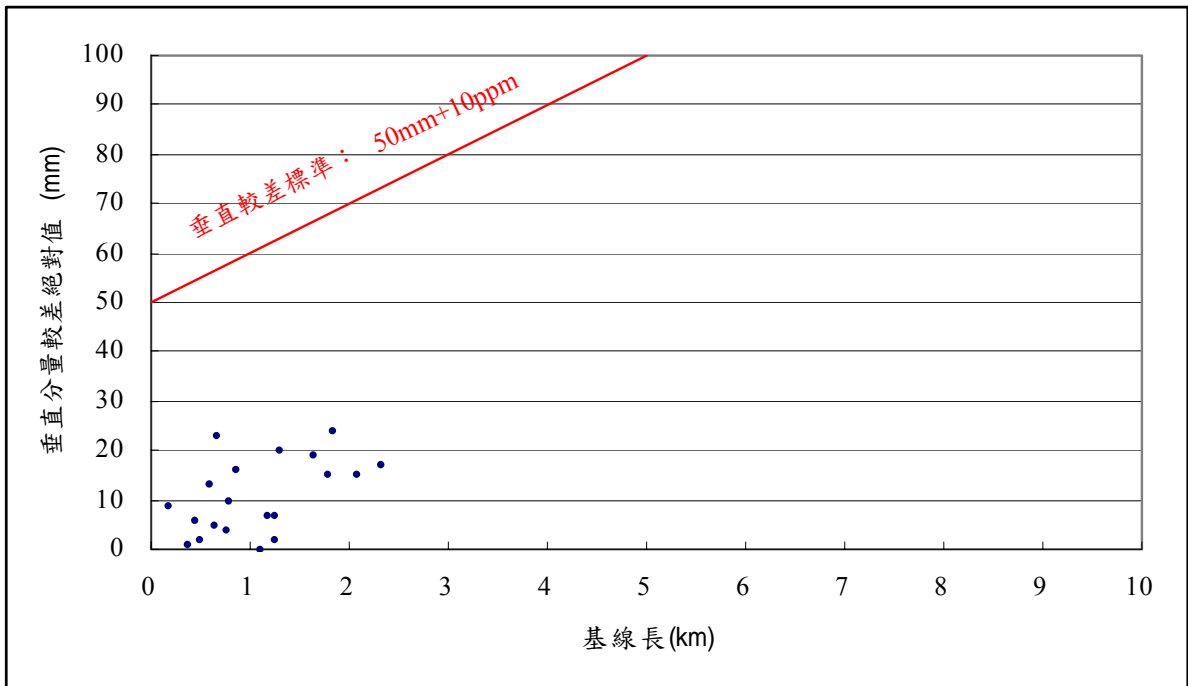


圖 5-33 小琉球重覆觀測基線垂直分量較差分布圖

§5-3 閉合差分析

當完成基線重覆性分析後，此時再將所得之最小約制平差初步成果進行閉合差分析，進行此項分析的目的亦是確保所計算的基線品質。理論上；環線內各坐標分量的三維閉合差應等於零，如不等於零，則純為基線計算處理所致。因此；環狀閉合差的大小可作為基線處理精度檢查的標準，且應符合規範需求：

1. 閉合圈中之基線源自不同觀測時段數：不得小於三。
2. 閉合圈中獨立觀測之基線數：不得小於二。
3. 閉合圈總邊長：不得大於 300 公里。
4. 可剔除之基線數目佔獨立基線比例，不得大於 15%。
5. X、Y、Z 各坐標分量之閉合差（公分）不得大於 25 公分。
6. X、Y、Z 各坐標分量之閉合差對閉合圈總邊長之比數（ppm）不得大於 5ppm。
7. 全系 X、Y、Z 各坐標分量之平均閉合差對閉合圈總邊長之比數（ppm）不得大於 3.5ppm 之規定。

而經計算後，計有七美、綠島及小琉球等三區未達上述規範（觀測時段數不足）而無法進行閉合差分析外，其餘五區閉合差分析成果如表 5-3 及圖 5-34~圖 5-63。故由上述分析結果及分布圖來看，大部分的坐標分量差值均介於 0cm~5cm，遠小於合約規範之 25 公分，代表加入網系平差的基線品質良好。

表 5-3 各區閉合差分析成果統計表

區域	閉合圈總數	閉合差對閉合圈總邊長之比數（ppm）		
		dX	dY	dZ
澎湖	90	-0.129	-0.485	0.099
望安	7	-0.787	0.083	0.145
金門	96	0.159	-0.336	-0.465
馬祖	56	-0.509	0.842	0.287
蘭嶼	7	1.912	-0.679	-1.067

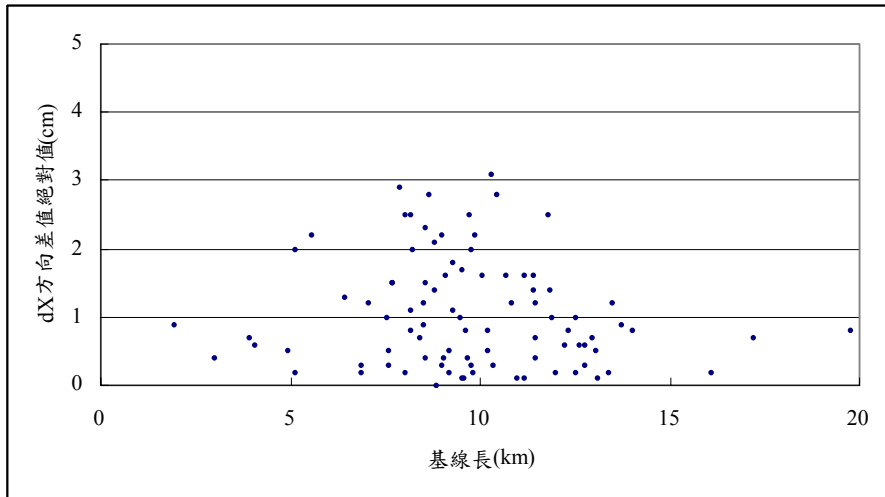


圖 5-34 澎湖閉合差分析 dX 方向差值分布圖

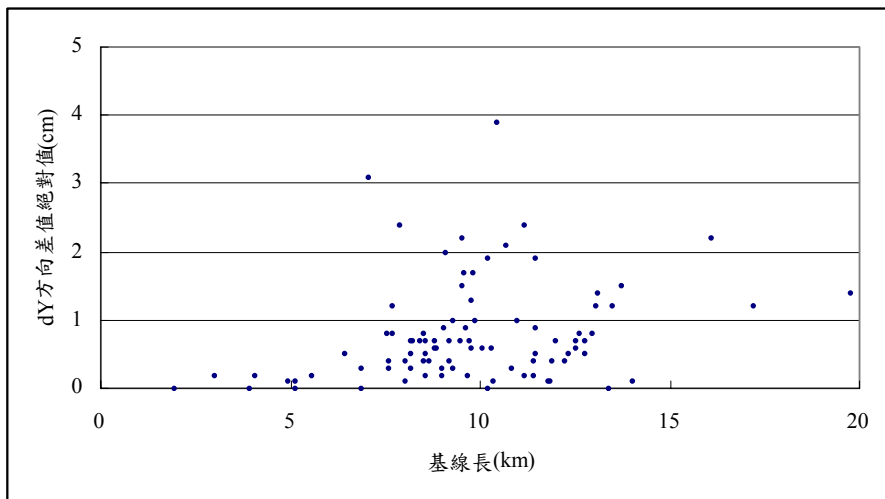


圖 5-35 澎湖閉合差分析 dY 方向差值分布圖

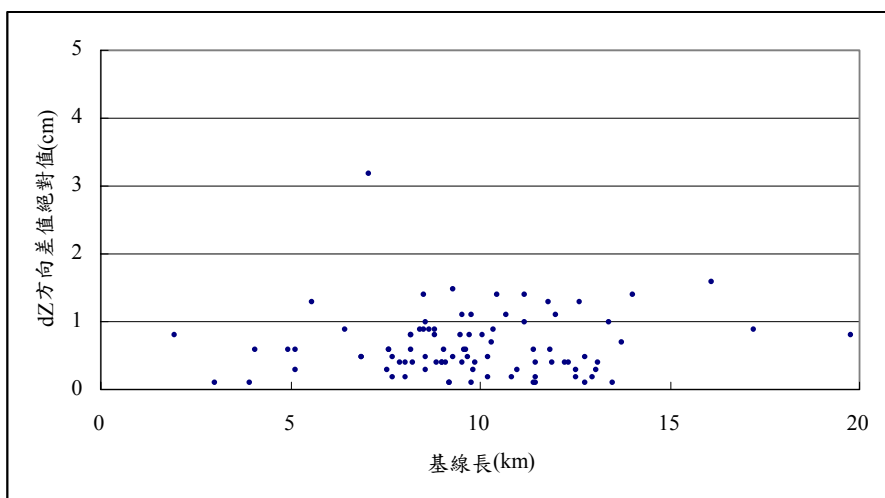


圖 5-36 澎湖閉合差分析 dZ 方向差值分布圖

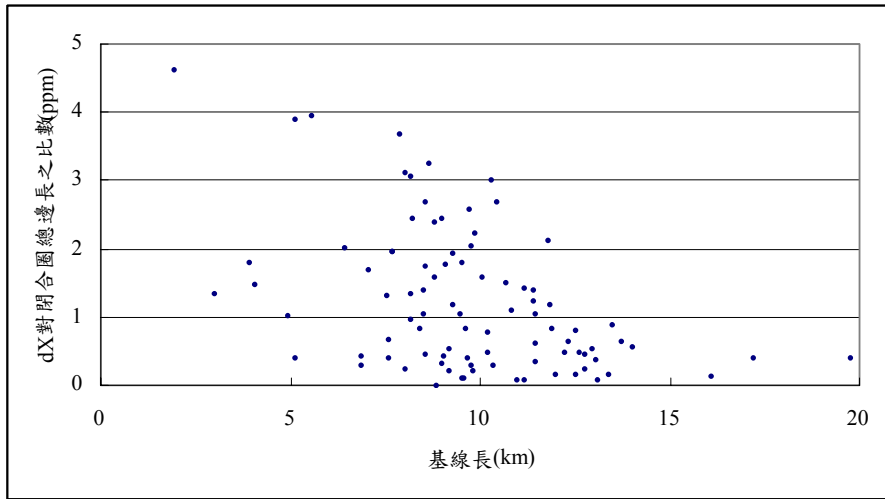


圖 5-37 澎湖閉合差分析 dX 對閉合圈總邊長比數分布圖

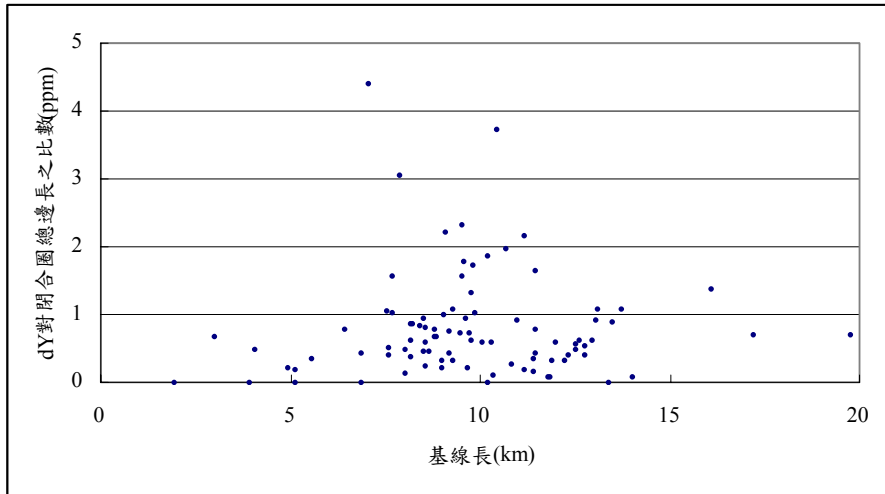


圖 5-38 澎湖閉合差分析 dY 對閉合圈總邊長比數分布圖

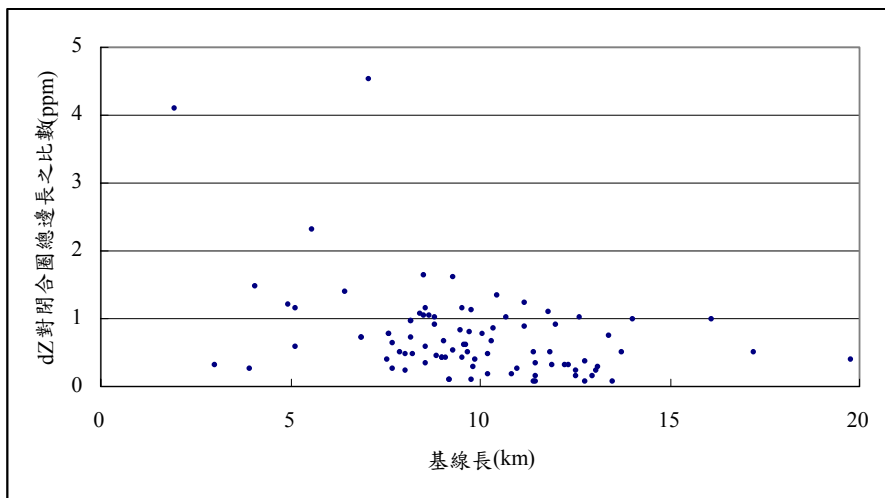


圖 5-39 澎湖閉合差分析 dZ 對閉合圈總邊長比數分布圖

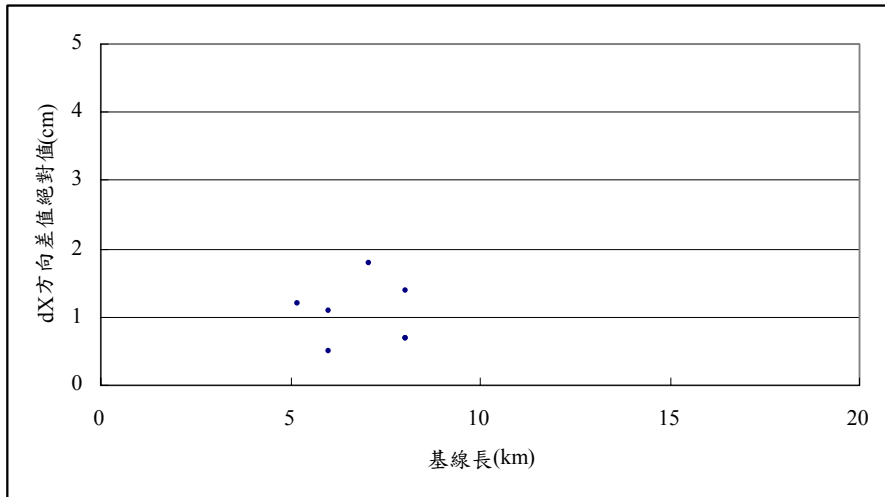


圖 5-40 望安閉合差分析 dX 方向差值分布圖

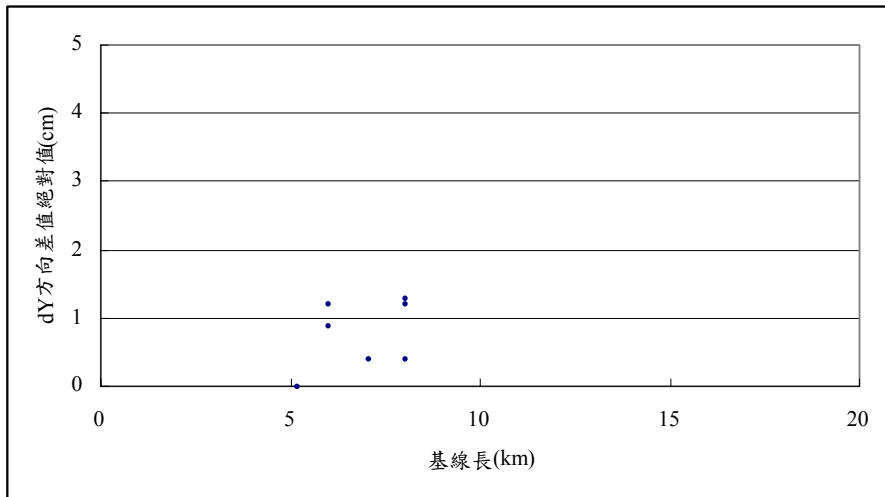


圖 5-41 望安閉合差分析 dY 方向差值分布圖

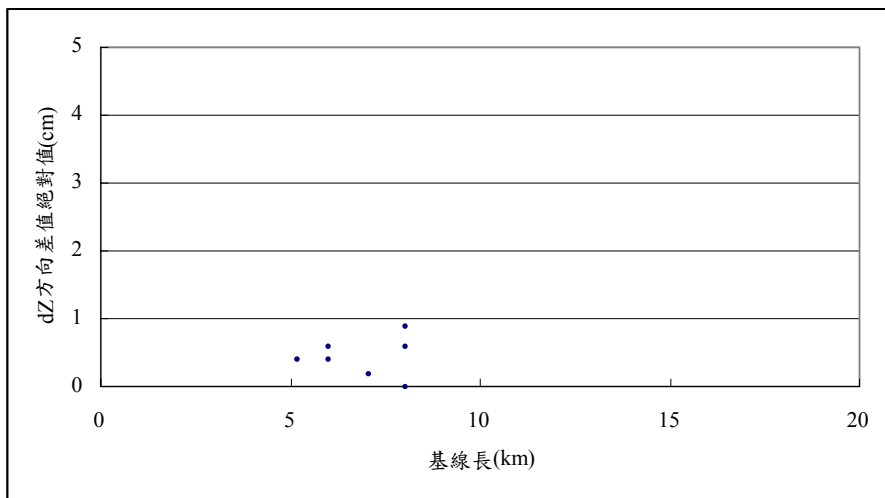


圖 5-42 望安閉合差分析 dZ 方向差值分布圖

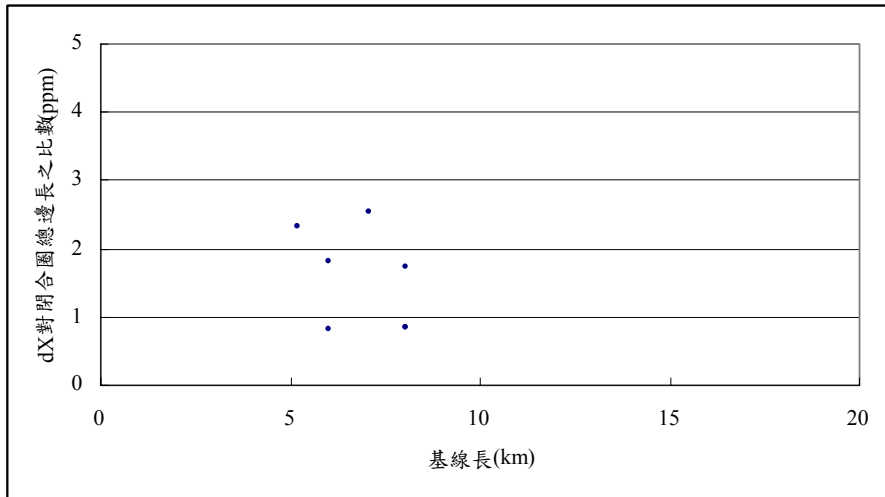


圖 5-43 望安閉合差分分析 dX 對閉合圈總邊長比數分布圖

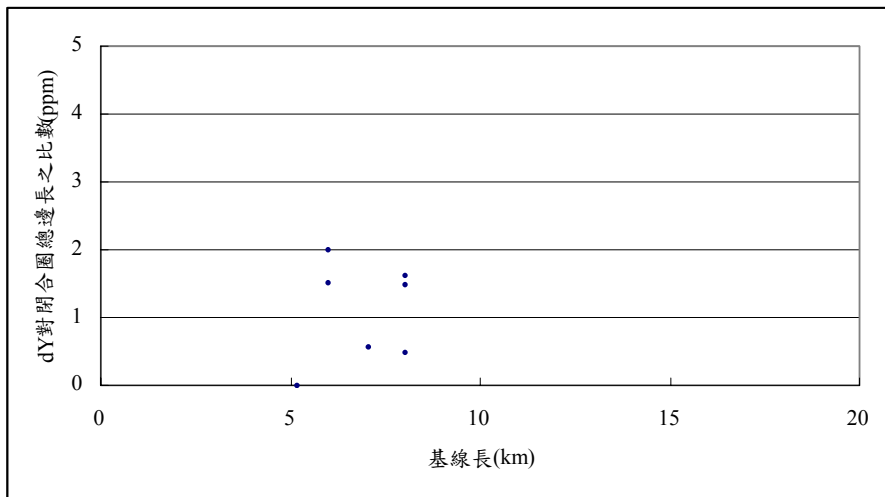


圖 5-44 望安閉合差分分析 dY 對閉合圈總邊長比數分布圖

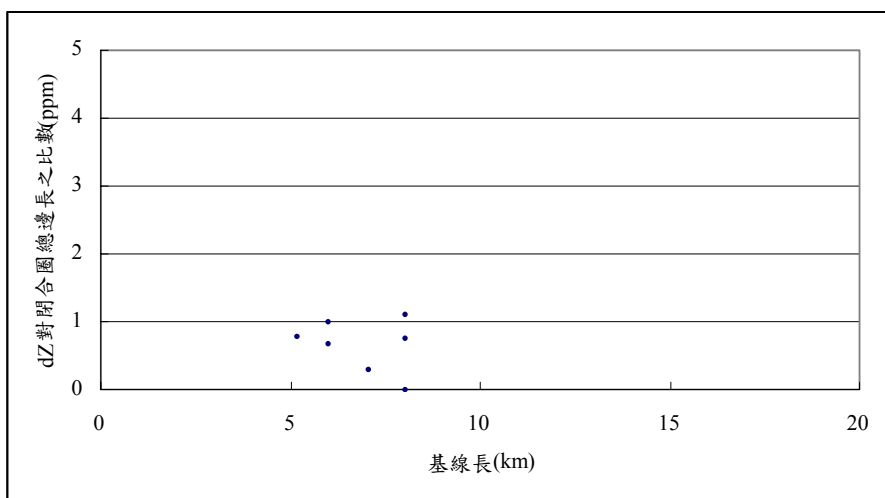


圖 5-45 望安閉合差分分析 dZ 對閉合圈總邊長比數分布圖

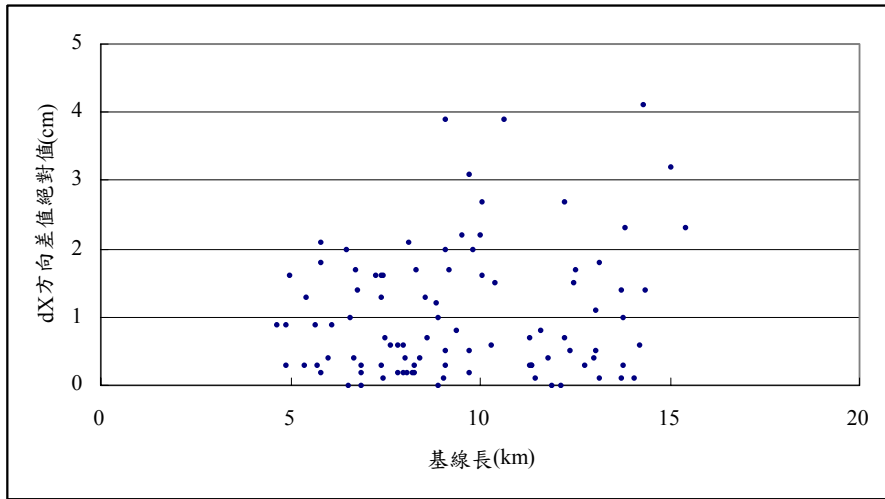


圖 5-46 金門閉合差分析 dX 方向差值分布圖

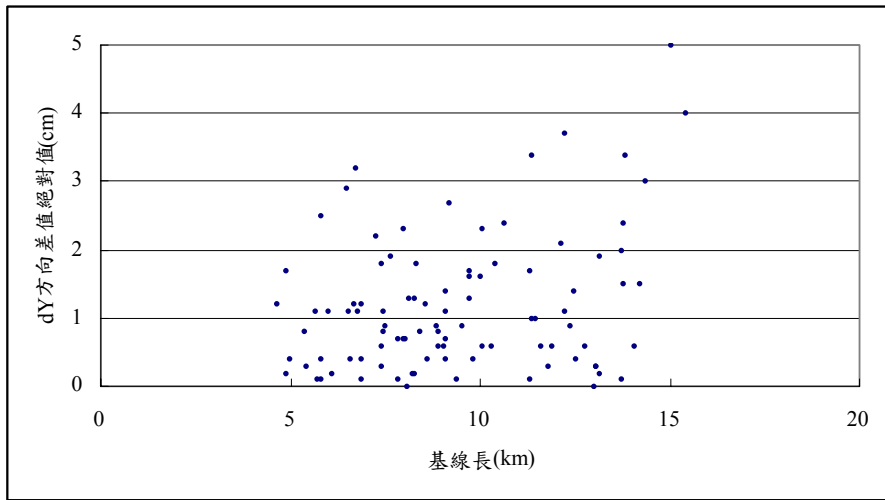


圖 5-47 金門閉合差分析 dY 方向差值分布圖

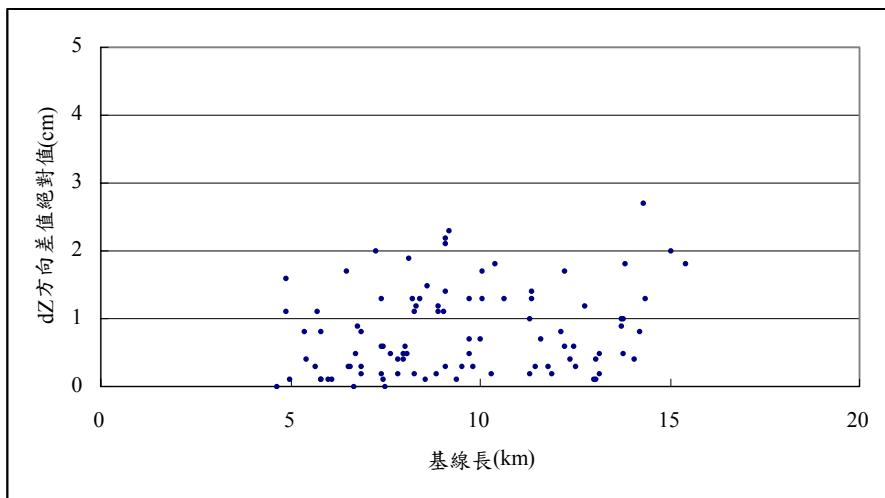


圖 5-48 金門閉合差分析 dZ 方向差值分布圖

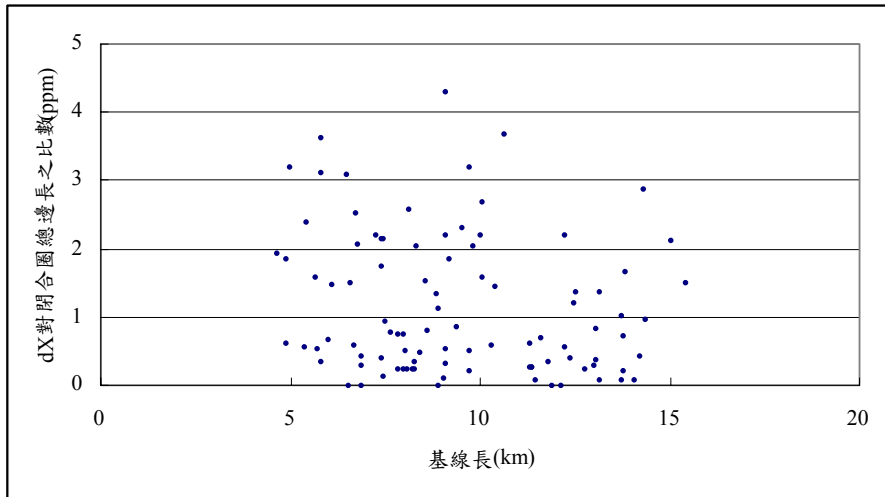


圖 5-49 金門閉合差分析 dX 對閉合圈總邊長比數分布圖

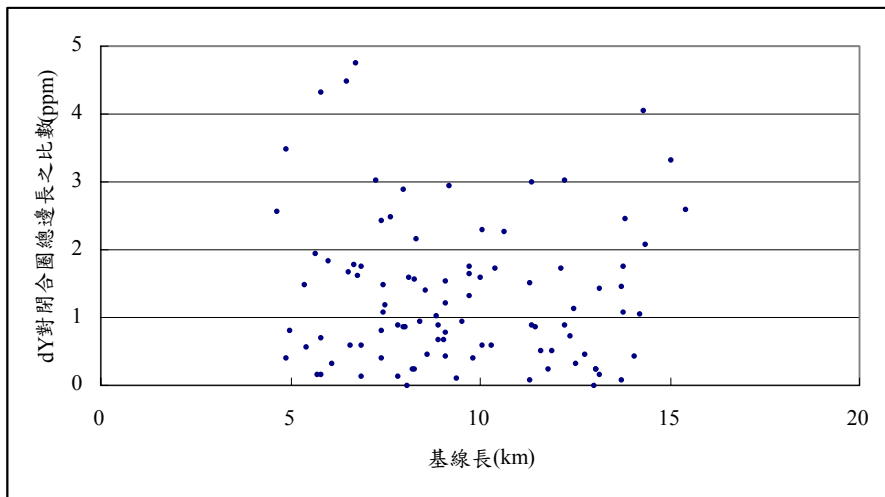


圖 5-50 金門閉合差分析 dY 對閉合圈總邊長比數分布圖

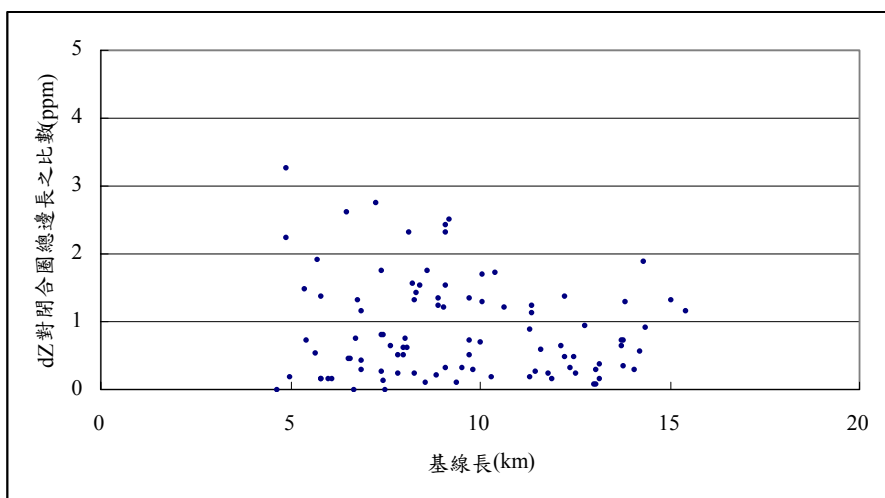


圖 5-51 金門閉合差分析 dZ 對閉合圈總邊長比數分布圖

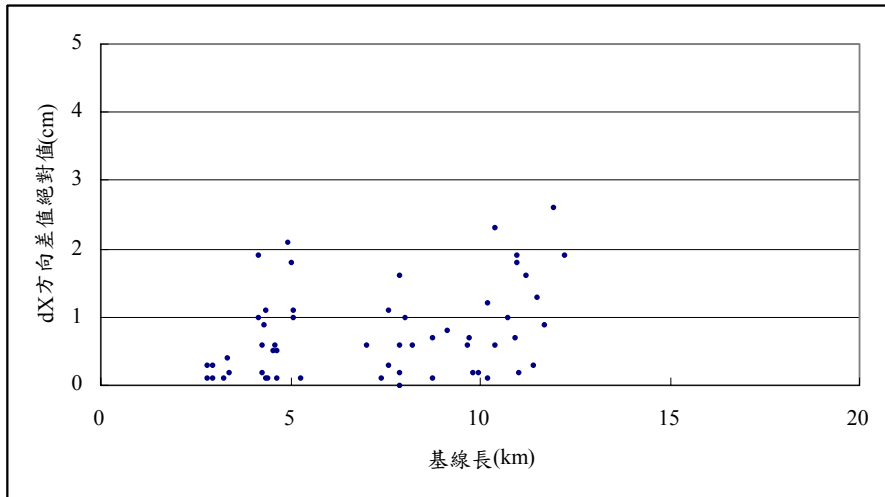


圖 5-52 馬祖閉合差分析 dX 方向差值分布圖

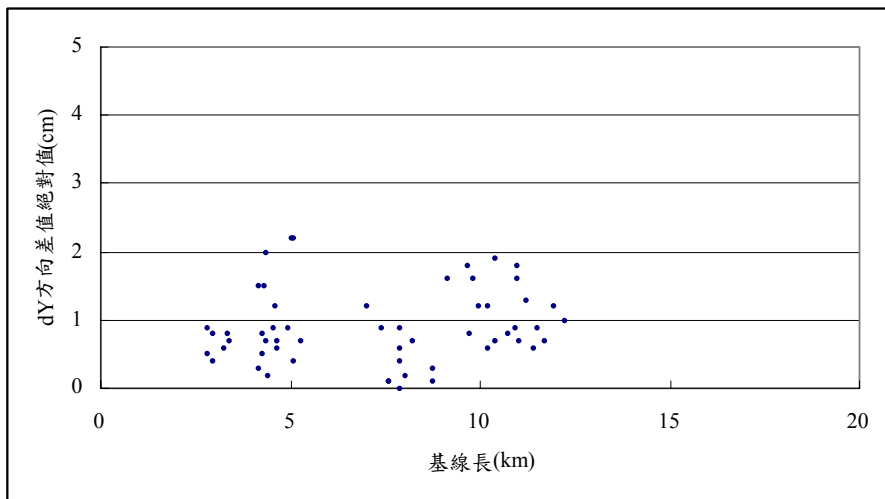


圖 5-53 馬祖閉合差分析 dY 方向差值分布圖

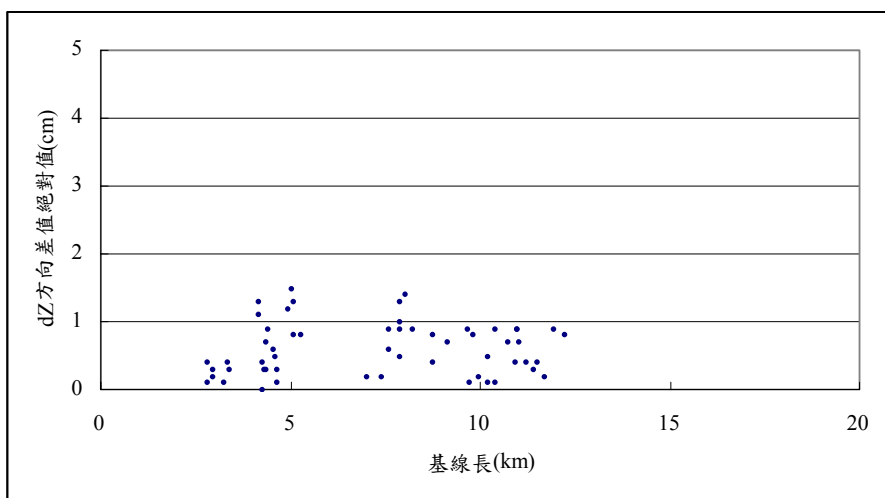


圖 5-54 馬祖閉合差分析 dZ 方向差值分布圖

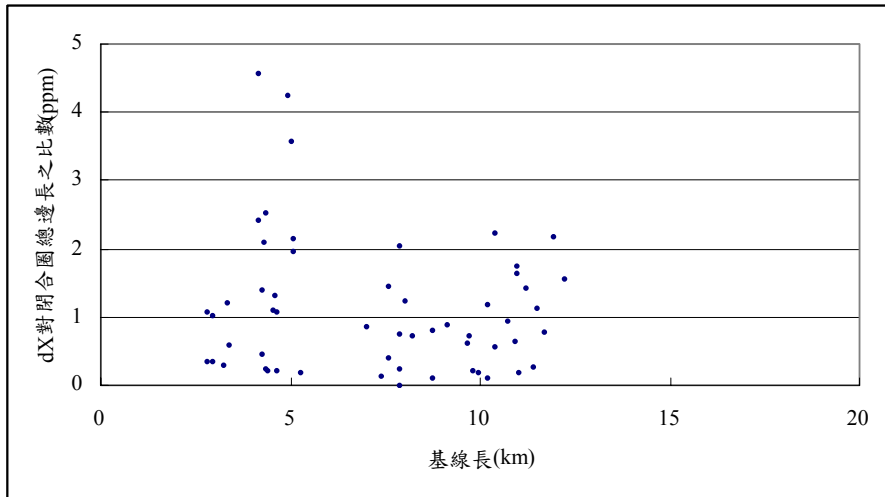


圖 5-55 馬祖閉合差分析 dX 對閉合圈總邊長比數分布圖

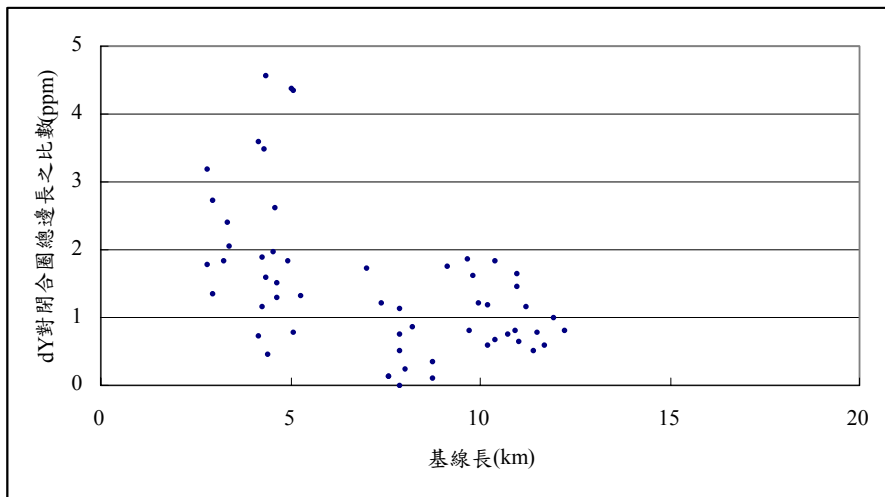


圖 5-56 馬祖閉合差分析 dY 對閉合圈總邊長比數分布圖

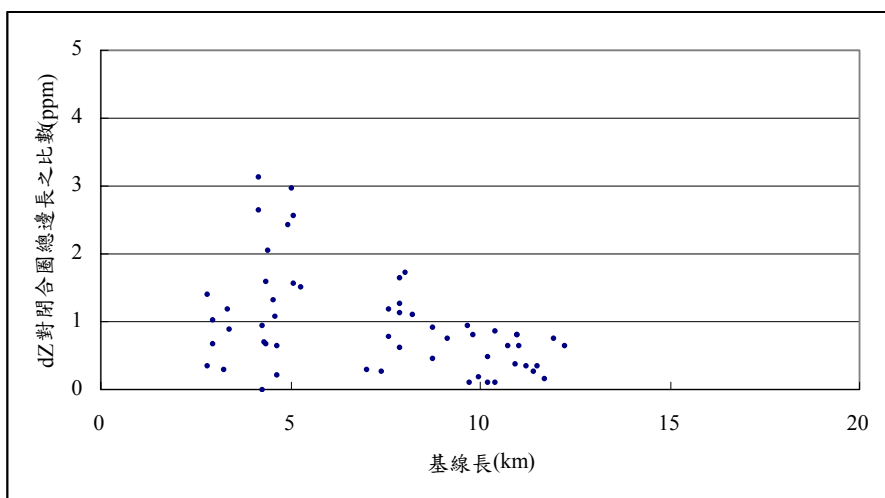


圖 5-57 馬祖閉合差分析 dZ 對閉合圈總邊長比數分布圖

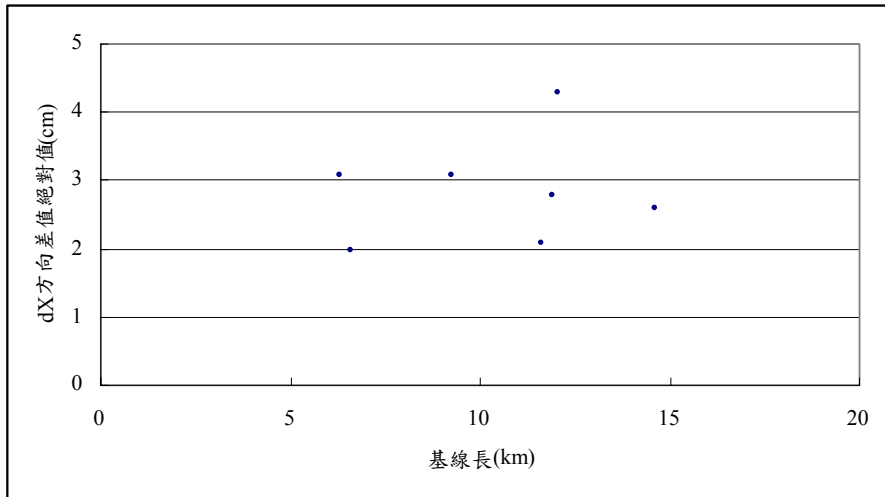


圖 5-58 小琉球閉合差分析 dX 方向差值分布圖

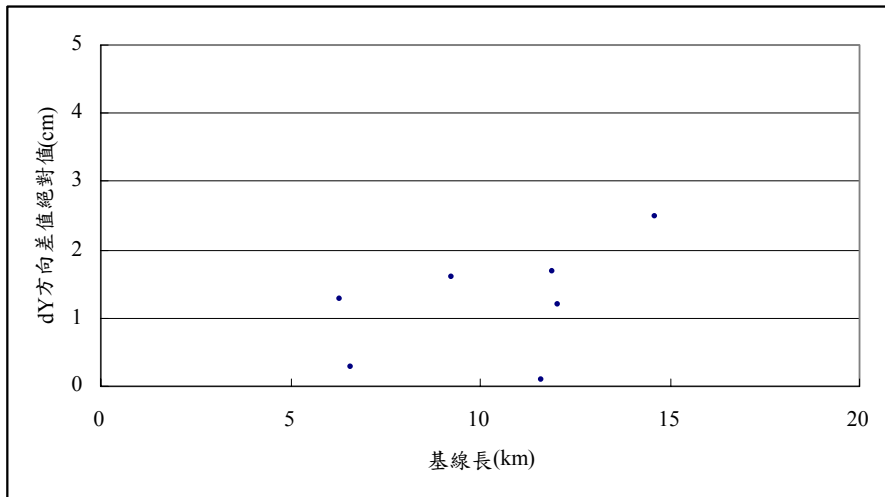


圖 5-59 小琉球閉合差分析 dY 方向差值分布圖

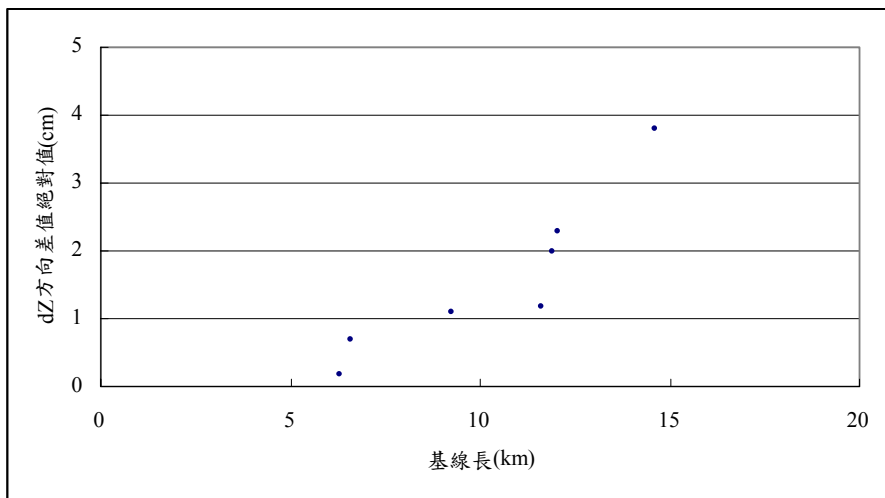


圖 5-60 小琉球閉合差分析 dZ 方向差值分布圖

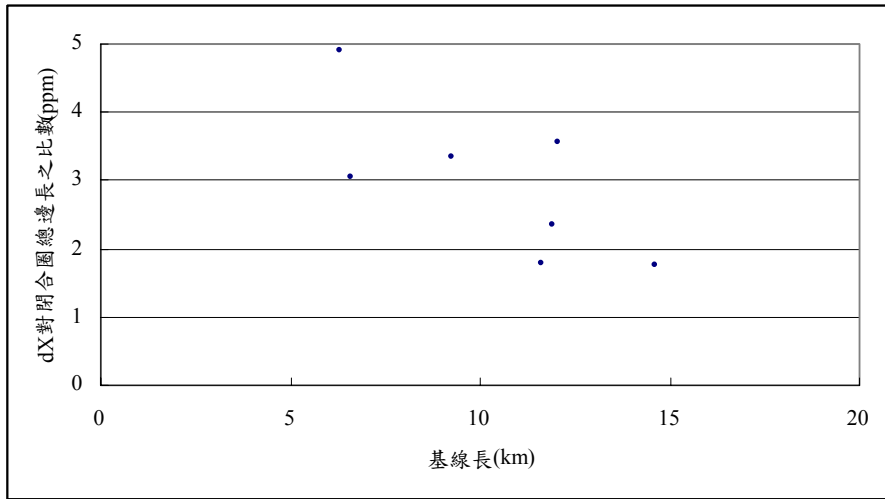


圖 5-61 小琉球閉合差分析 dX 對閉合圈總邊長比數分布圖

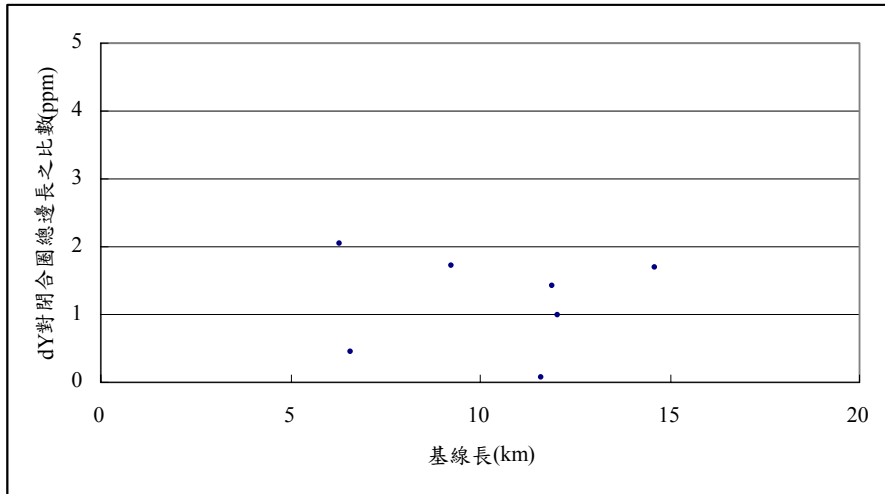


圖 5-62 小琉球閉合差分析 dY 對閉合圈總邊長比數分布圖

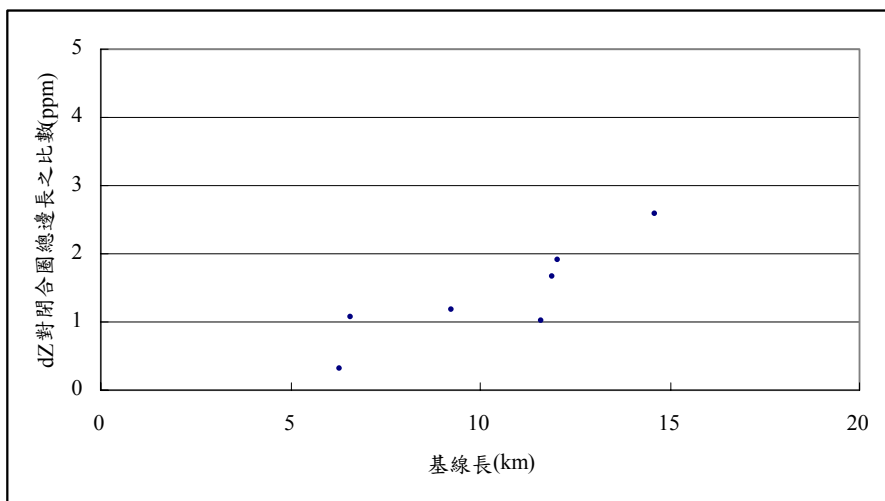


圖 5-63 小琉球閉合差分析 dZ 對閉合圈總邊長比數分布圖

§5-4 最小約制平差成果

§5-4-1 最小約制平差成果統計

由於 GPS 基線向量是不等權的，因此每條基線解算後的協變方大小均不一致，平差即是考慮基線的不等權問題，在先驗權單位中誤差為 1 的假設下，將每條基線的協變方作為權倒數代入網系平差中，以三維最小約制方式對所有基線進行網系平差。

先將每條基線（觀測值）均視為同一等級乘以同樣尺度大小的權，進行平差別除大誤差的基線，全網系經基線重覆性、環狀閉合差分析後，採用 τ 測試對觀測值進行粗差的檢驗，將 τ 值大於 3 時視為含有大誤差的觀測值予以剔除，經數次篩檢直至漸進收斂為止。

依照上述的方式進行計算，將八個作業區所得平差成果統計如表 5-4。而依此所得到的平差成果，並無法通過在 95% 的信心區間內的卡方 (χ^2 , chisquare) 測試，這是因為平差計算中只包含一種觀測量，其權單位中誤差僅表示變方因子的尺度效應，故顯示軟體計算所得的成果過於樂觀估計。因此我們將各區全部基線的協變方乘上表 5-4 中的後驗權單位中誤差，重新平差後可得新的後驗權單位中誤差為 1.000，方可通過卡方 (95%) 測試，即通過權單位中誤差的檢驗。

表 5-4 最小約制平差成果統計表

區域	約制點	計算點數	觀測量	未知數	自由度	後驗權單位中誤差
澎湖	S031	101	2613	300	2313	4.478
七美	S032	11	330	30	300	4.709
望安	S864	10	186	27	159	5.288
金門	KMNM	99	2547	294	2253	3.671
馬祖	MZUM	50	1320	147	1173	3.743
綠島	V244	17	396	48	348	5.074
蘭嶼	V010	33	789	96	693	5.495
小琉球	T025	16	330	45	285	2.842

註：最小約制平差約制點數為 1 點，先驗權單位中誤差為 1.000。

最後，計算各區最小約制平差成果，則統計各區平差後之標準偏差（表 5-5），在水平方向約介於 1~2mm，在橢球高則約介於 3~6mm，遠小於合約規範之水平方向 40mm、橢球高 100mm 的標準值，顯示各區平差的成果良好，。

表 5-5 最小約制平差後點位標準偏差統計表

區域	緯度標準偏差(m)		經度標準偏差(m)		橢球高標準偏差(m)	
	平均值	最大值	平均值	最大值	平均值	最大值
澎湖	0.001	0.004	0.001	0.004	0.003	0.009
七美	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.002
望安	0.001	0.002	0.001	0.002	0.003	0.005
金門	0.001	0.002	0.002	0.003	0.005	0.007
馬祖	0.001	0.002	0.001	0.001	0.002	0.003
綠島	0.001	0.001	0.001	0.001	0.003	0.004
蘭嶼	0.002	0.002	0.002	0.002	0.006	0.007
小琉球	0.001	0.001	0.001	0.001	0.003	0.003

§5-4-2 基線精度分析

我們雖經由前述平差後點位的標準偏差，了解最小約制平差的成果符合合約規範要求，但為確保整個平差成果的可靠程度，於後續進行 TWD97 坐標平差前，仍對最小約制平差成果進行基線精度分析，目的在於檢核觀測量經過網系平差後，是否在乎差過程中產生較大之改正量，至使求解的未知數產生偏移。而在本計畫中，依照合約規範其標準如下：

基線長標準誤差：不得大於 10mm + 2ppm

而在考量的作法上，我們採取將實測所得之空間弦長（即基線長）與最小約制平差成果坐標反算的基線長進行比較，其所得成果如圖 5-64~圖 5-71 所示，而經檢核結果所有解算之成果均能符合規定，顯示基線計算及網形平差成果良好。

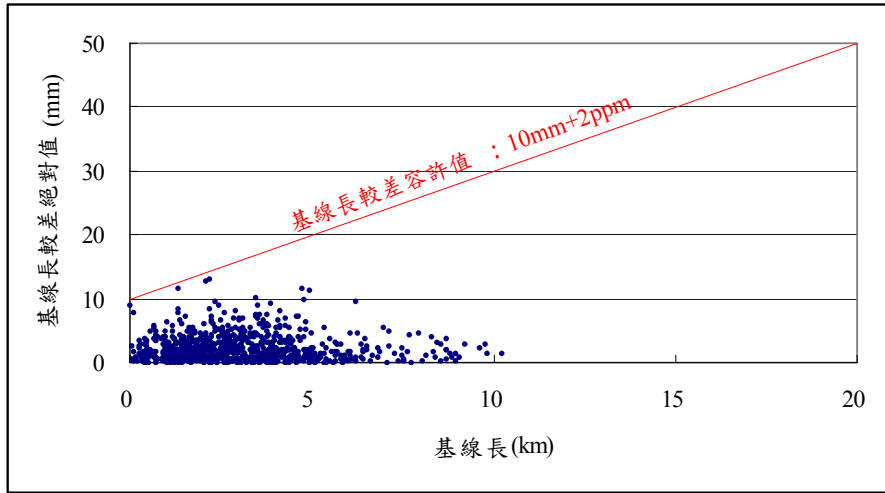


圖 5-64 澎湖實測與最小約制平差後基線長較差分布圖

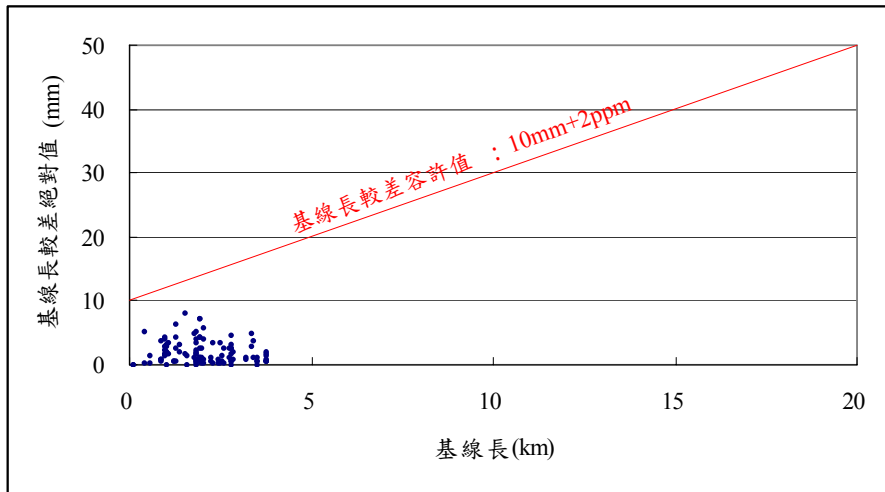


圖 5-65 七美實測與最小約制平差後基線長較差分布圖

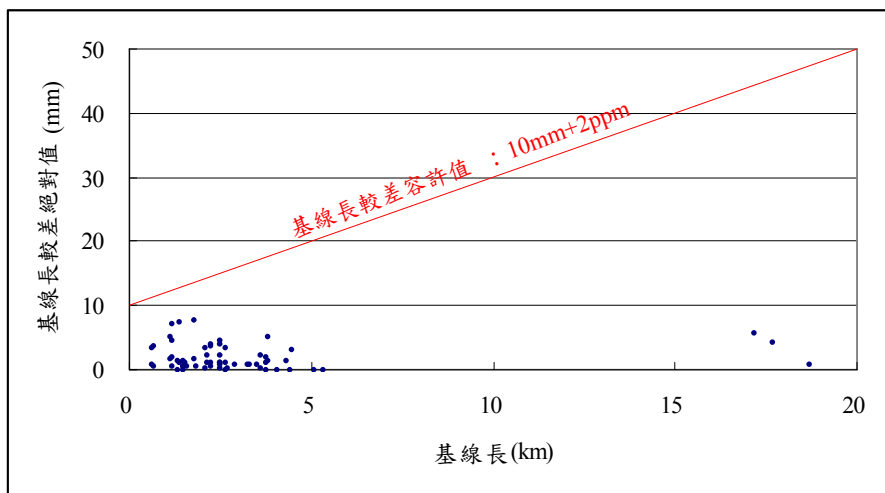


圖 5-66 望安實測與最小約制平差後基線長較差分布圖

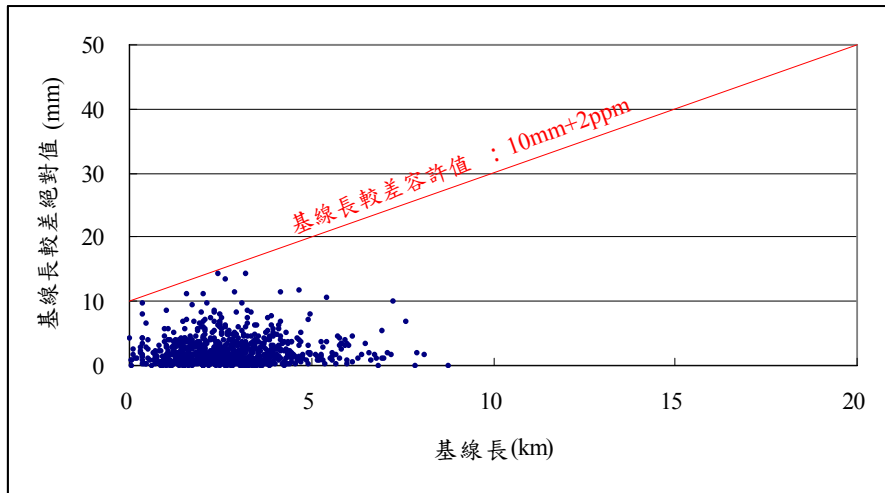


圖 5-67 金門實測與最小約制平差後基線長較差分布圖

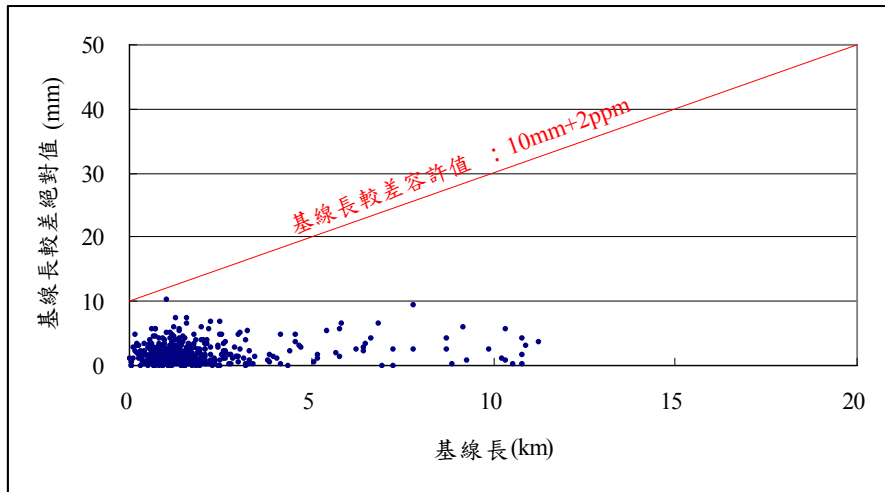


圖 5-68 馬祖實測與最小約制平差後基線長較差分布圖

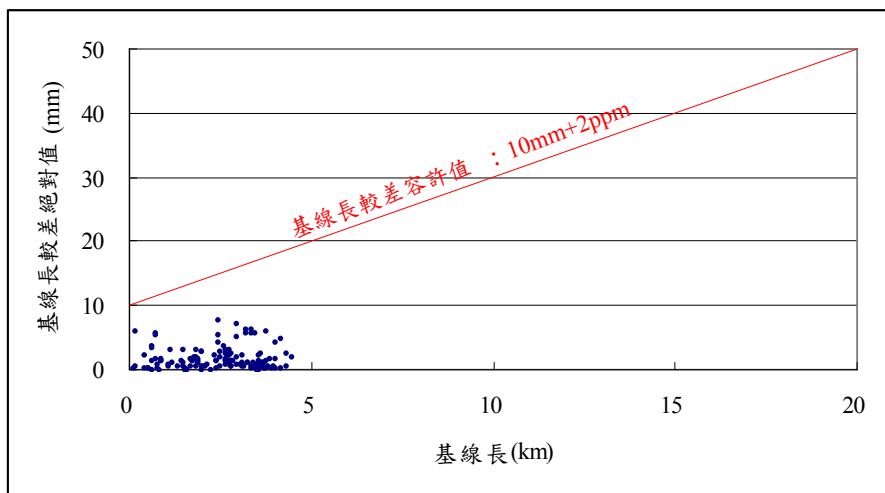


圖 5-69 綠島實測與最小約制平差後基線長較差分布圖

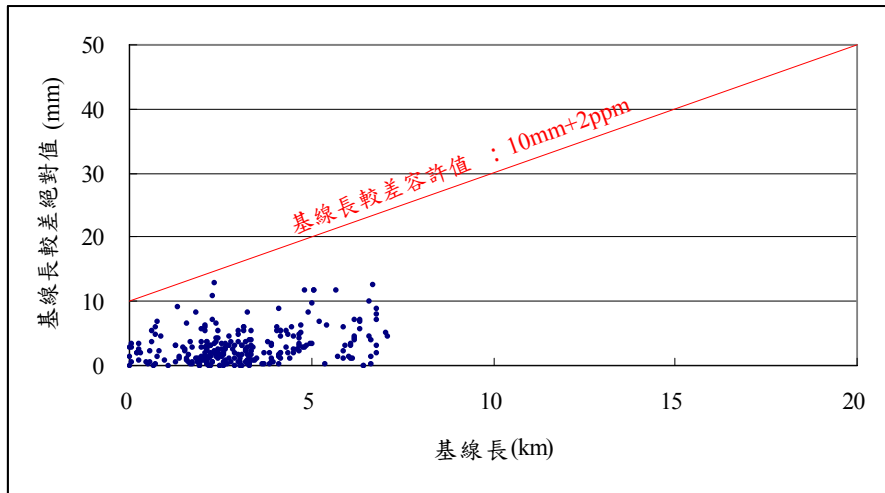


圖 5-70 蘭嶼實測與最小約制平差後基線長較差分布圖

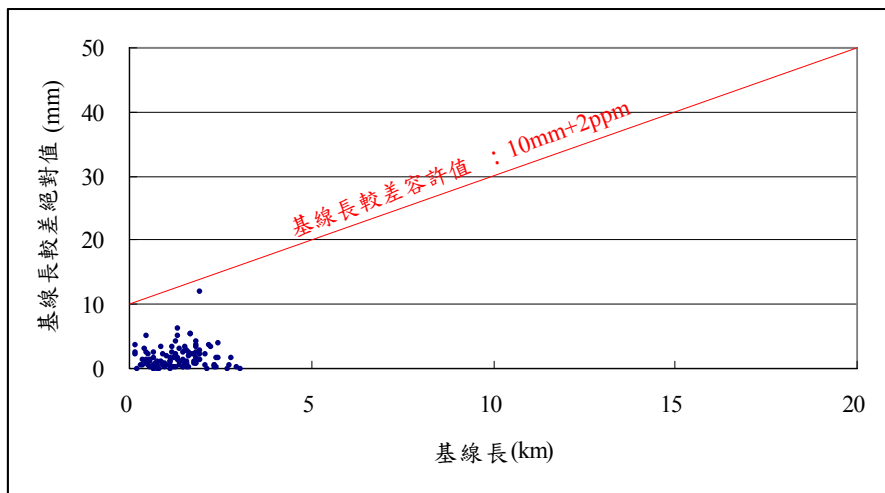


圖 5-71 小琉球實測與最小約制平差後基線長較差分布圖

第六章 TWD97 坐標平差

§6-1 已知點變動分析

§6-1-1 測區版塊運動的影響

在進行已知點的坐標變動分析之前，我們需對測區構造環境有所了解，由於台灣位於歐亞大陸板塊與菲律賓海板塊之接合處，這兩個板塊每年以 8.2 公分的顯著速度相互靠近，導致台灣島上發生劇烈的變形縮短作用。

而過去已有學者採用衛星定位測量 (GPS) 的方式求取地表的速度量，余水倍等人首先利用 1990 年至 1995 年的 GPS 觀測量計算台灣地區速度場 (Yu, 1997)，就採用此種方式，它證實菲律賓海板塊每年約以 8 cm 左右的速度量朝歐亞板塊擠壓，由圖 6-1 中我們得知，本次作業區域在不同位置受板塊推擠的影響，產生的變化明顯不一致，其中又以綠島、蘭嶼及小琉球地區為最，相較於其他 7 個離島中，明顯有較大的變化量，因此在後續的平差過程中，需詳細的加以考慮。

此外，對於所有的已知點中，其公告的點位坐標有時間性的不同，以一、二等衛控點而言，分別有 87 年公告之坐標及 921 震後公告之坐標，三等控制點則分別於 90、91 及 92 三個年度分區域施測公告，至於潮位站水準點則又於 91 年度施測，彼此間若考慮前述板塊運動的影響，及當初施測時套合原則的不同，不同等級的已知點間存在差異是必然的，故於後續套合作業進行時，必當有所取捨。

也因此，我們在第五章時以約制馬祖衛星追蹤站進行分析各測區已知點坐標時，由圖 5-2~圖 5-17 中，對於澎湖、七美、望安、金門及馬祖等五個區域而言，彼此間並無太大的相對變化量，但對於綠島、蘭嶼及小琉球等三個區域，已有數十公分左右的變化量，呼應前人研究數據來說，7、8 年左右因板塊運動所產生的變化量應屬合理。

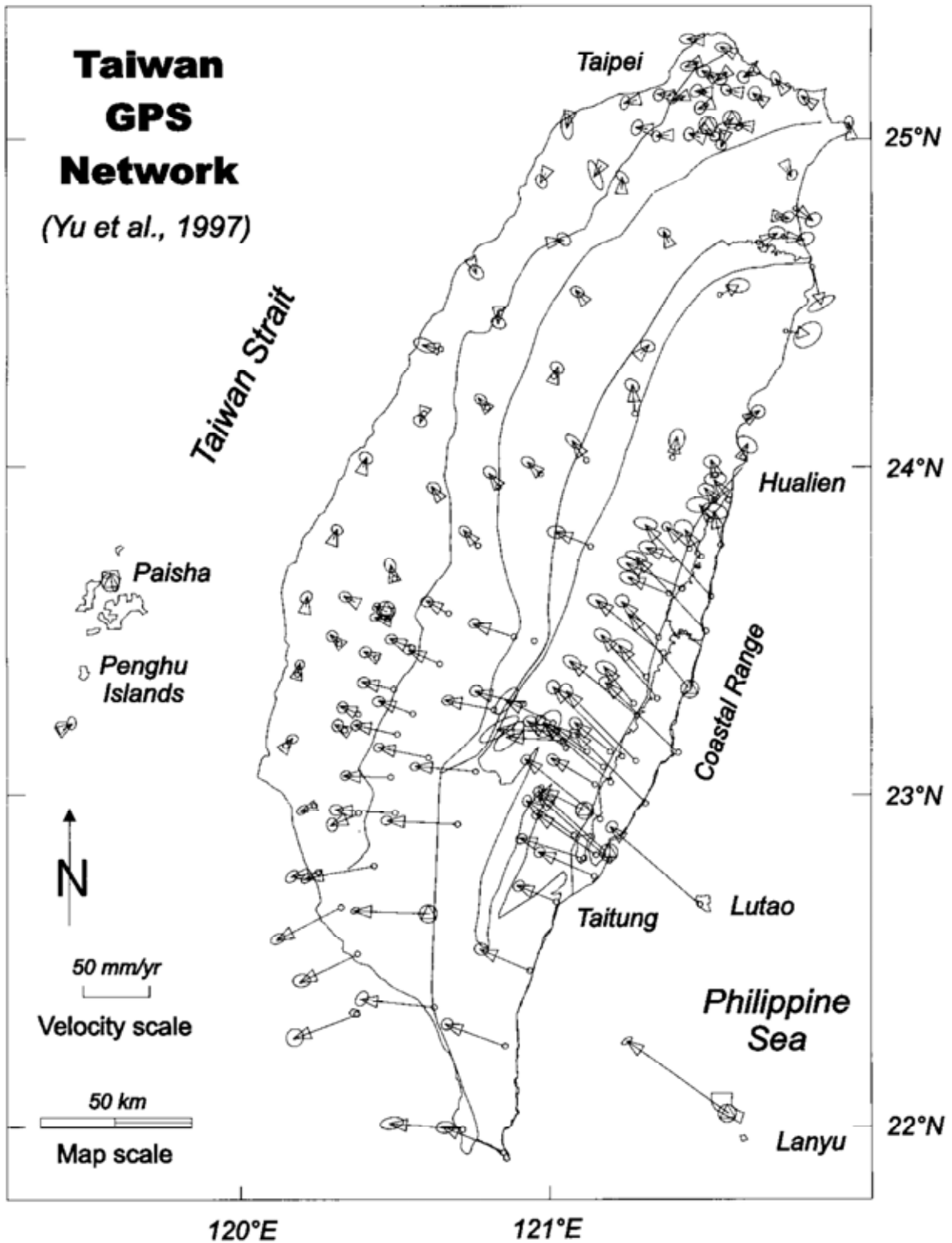


圖 6-1 GPS 連續觀測計算台灣地區速度量

§6-1-2 已知點坐標較差分析

因為前述板塊運動造成點位坐標的變動，在未全面坐標重新檢測前，意圖將八個測區合併進行坐標平差實屬不智，因此考量後續的作業仍以八個作業區分別進行。

而完成最小約制平差後，為了能合理的進行後續的坐標平差工作，因此在進行 TWD97 坐標平差之前，我們對現有的已知點需進行其坐標變動的分析工作；主要針對原有的一、二等衛星控制點、三等控制點、一等水準點及潮位站點坐標。

也因為確立分區坐標平差的原則，因此將各區域最小約制成果所得坐標，與公告之 TWD97 坐標進行比較，由於之前選擇各區最小約制平差的約制點時，已考量該點能較符合當地坐標系統，如此所得到的已知點坐標較差，於後續 TWD97 坐標平差時，對於已知點的篩選，將提供一份重要的參考依據。而各區已知點坐標較差的分析結果如圖 6-12~圖 6-17。



圖 6-2 澎湖已知點坐標水平分量較差圖

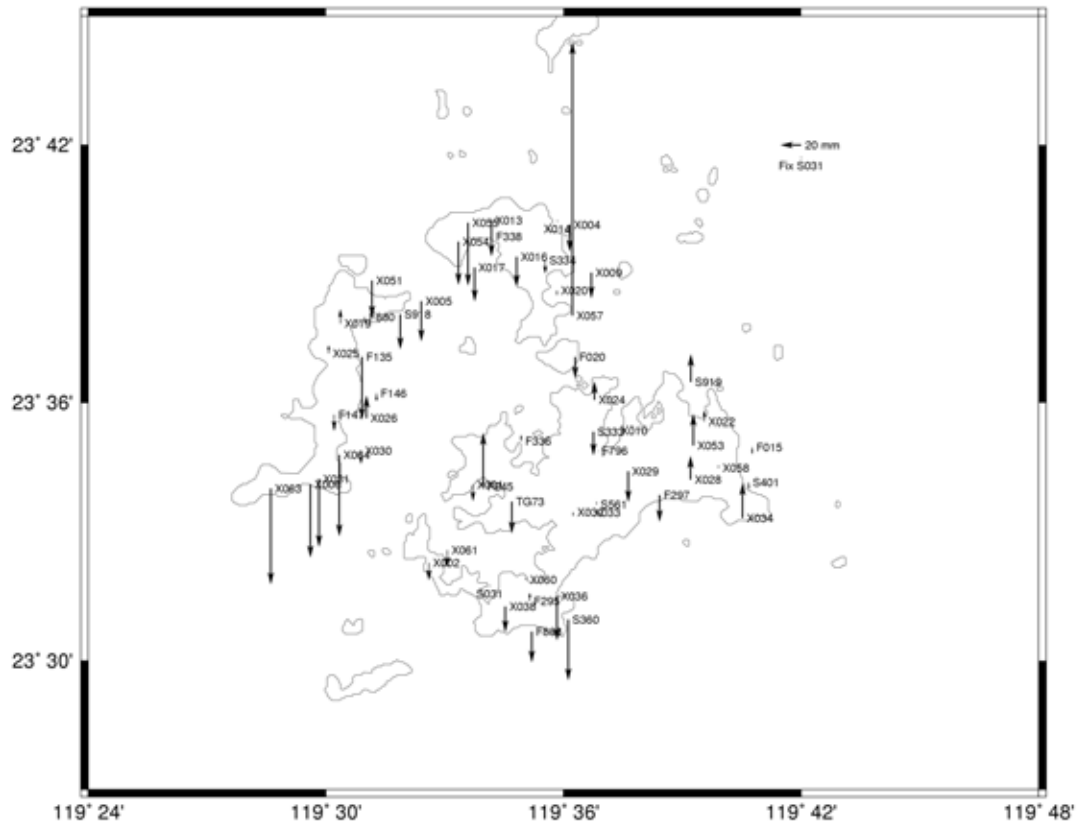


圖 6-3 澎湖已知點坐標垂直分量較差圖

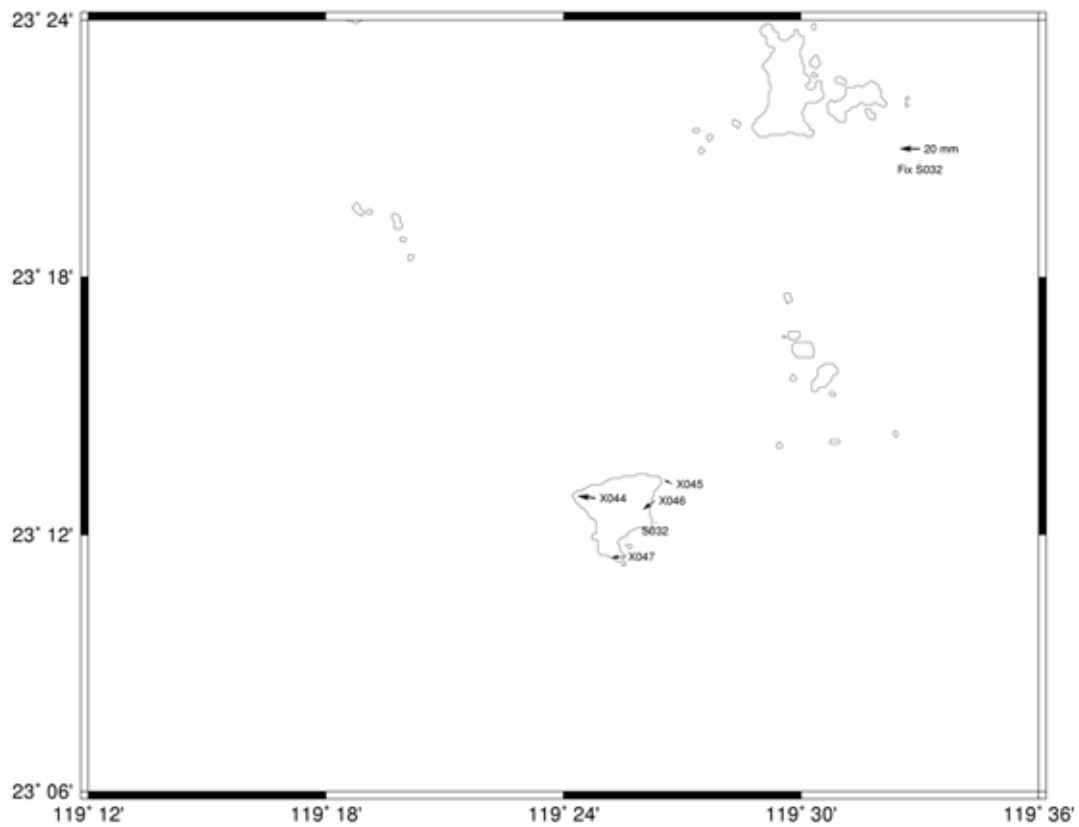


圖 6-4 七美已知點坐標水平分量較差圖

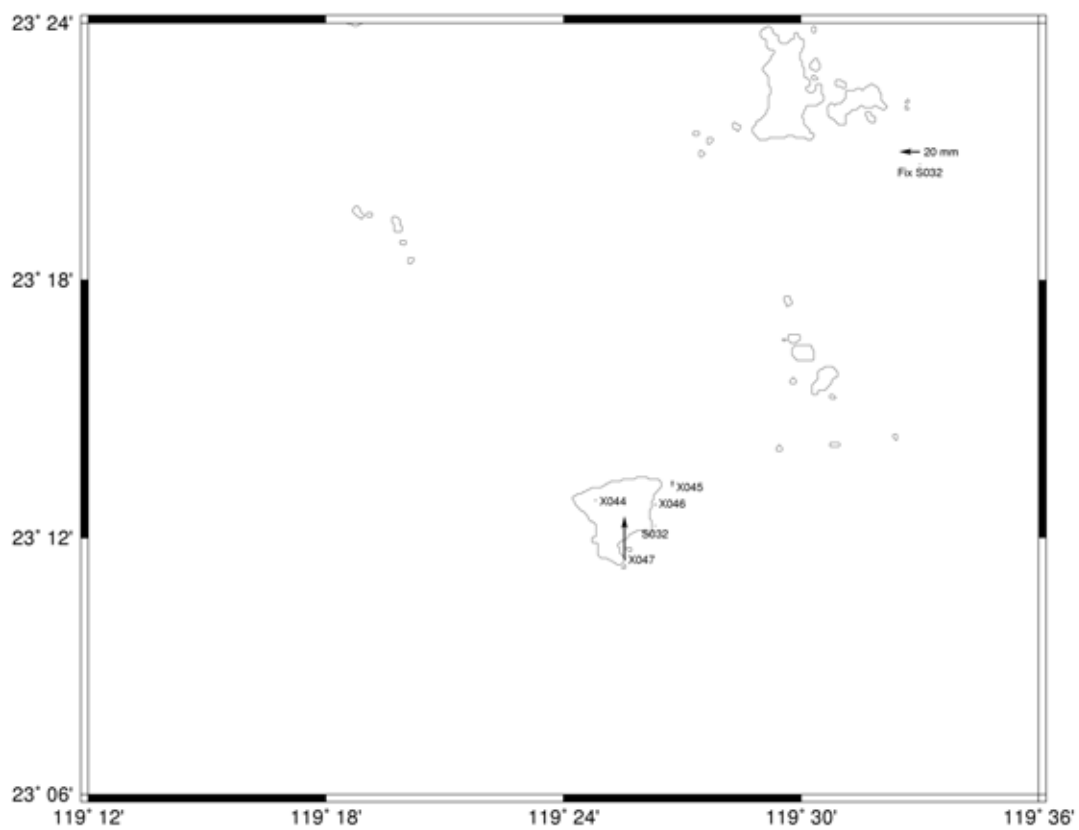


圖 6-5 七美已知點坐標垂直分量較差圖

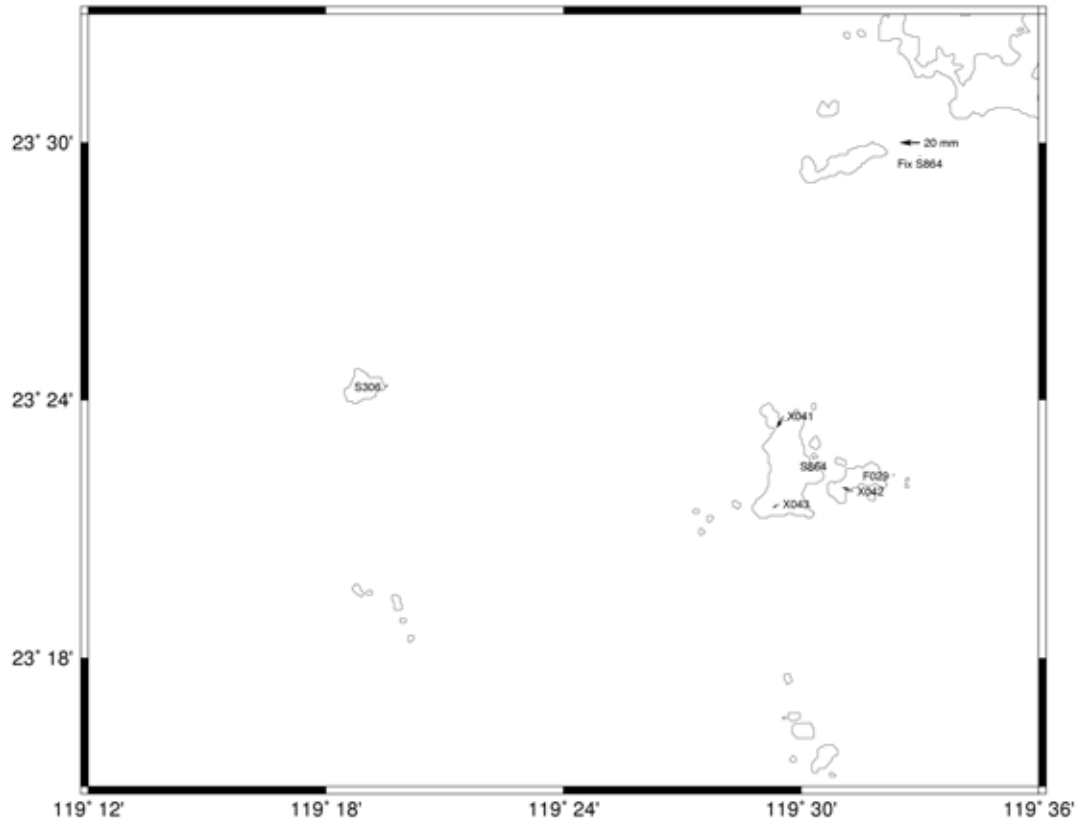


圖 6-6 望安已知點坐標水平分量較差圖

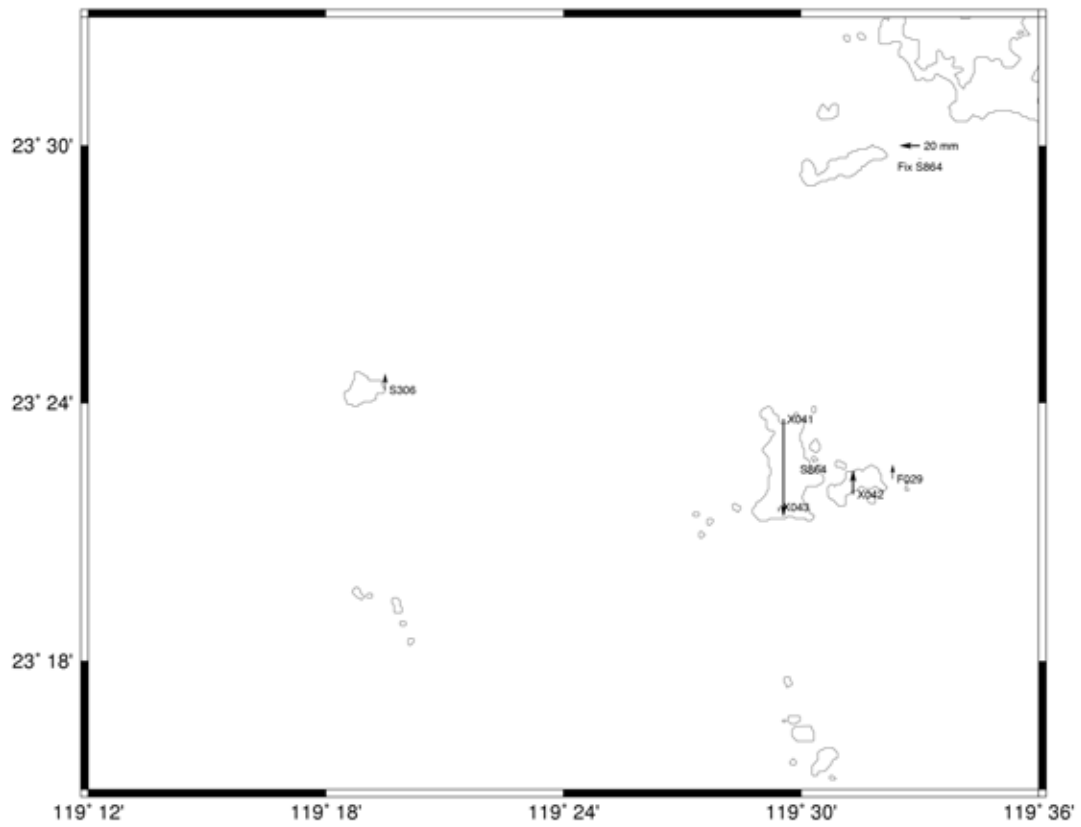


圖 6-7 望安已知點坐標垂直分量較差圖

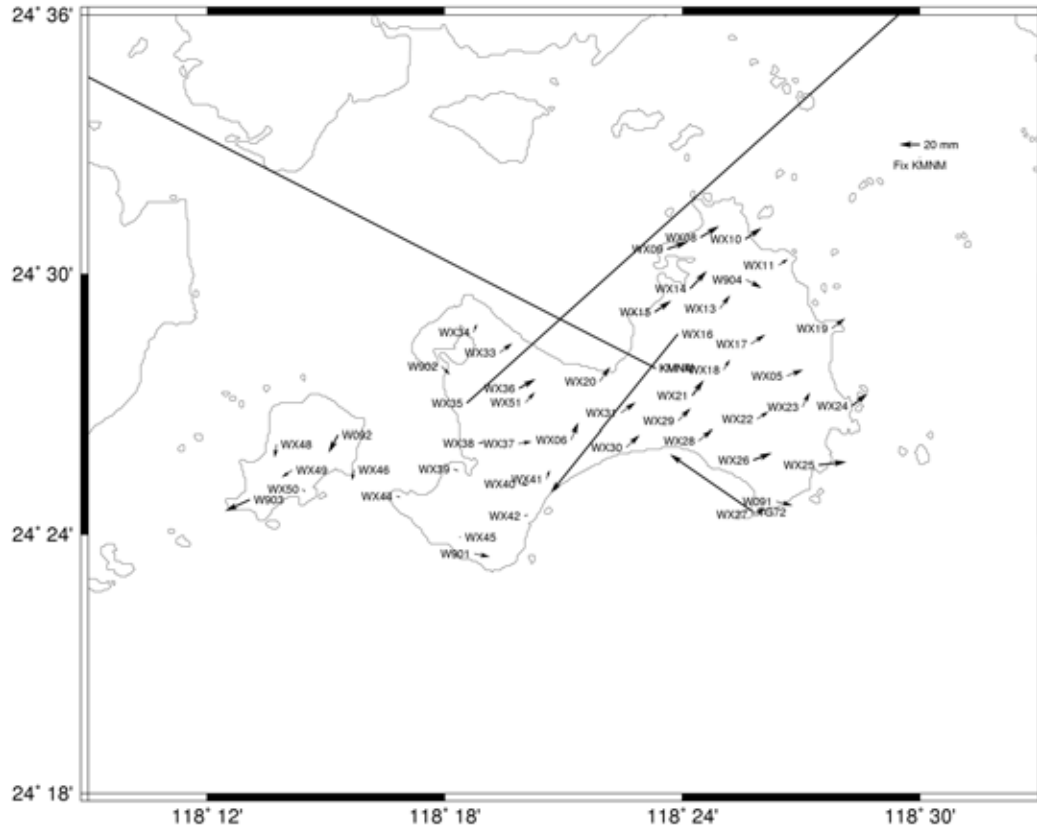


圖 6-8 金門已知點坐標水平分量較差圖

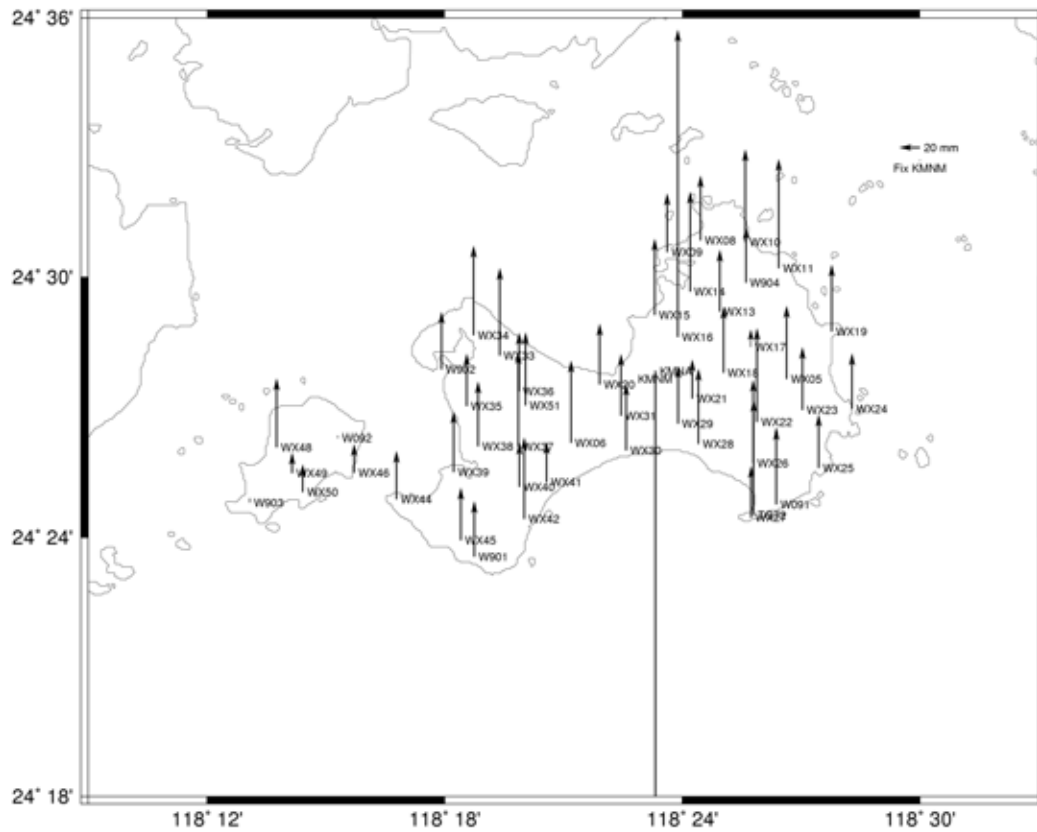


圖 6-9 金門已知點坐標垂直分量較差圖

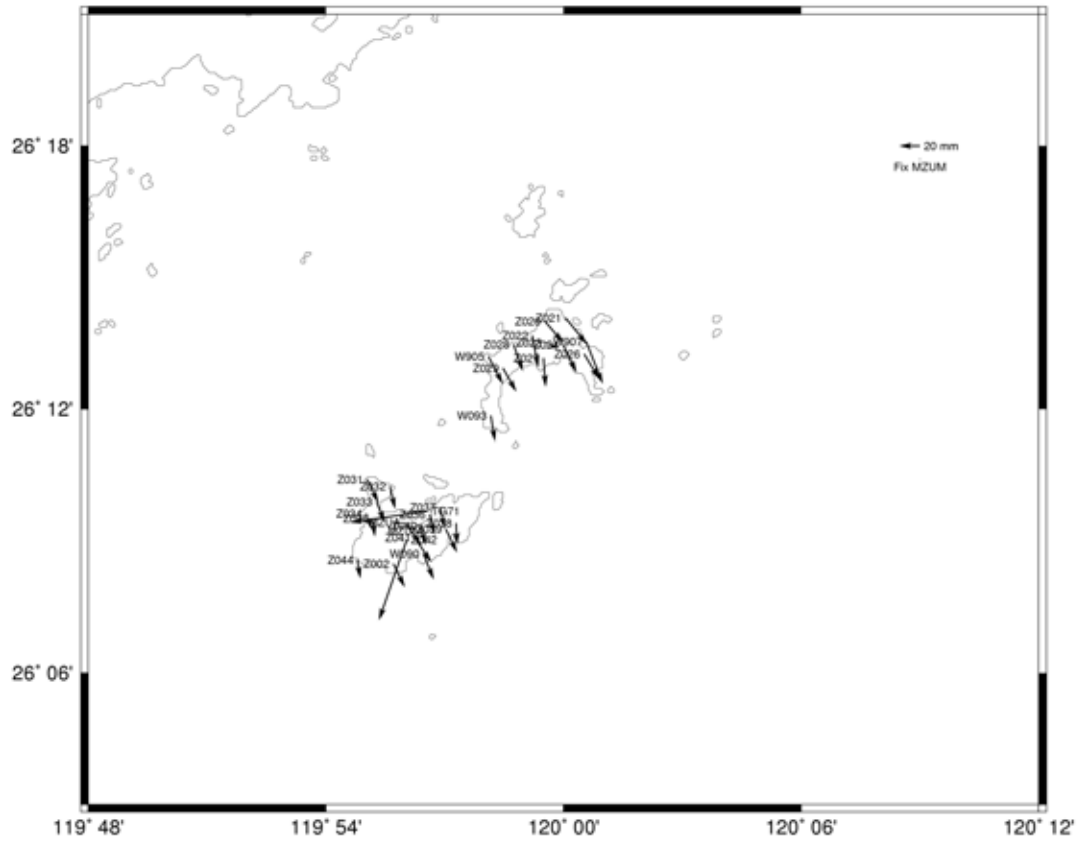


圖 6-10 馬祖已知點坐標水平分量較差圖

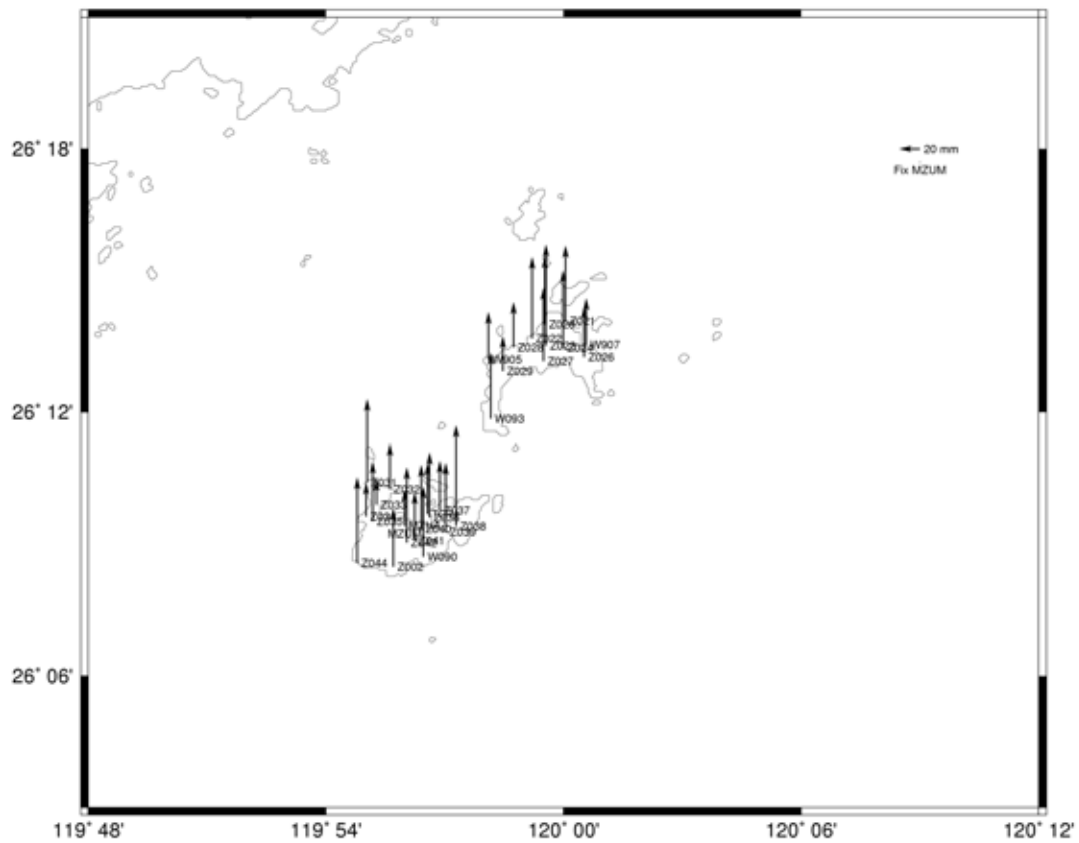


圖 6-11 馬祖已知點坐標垂直分量較差圖

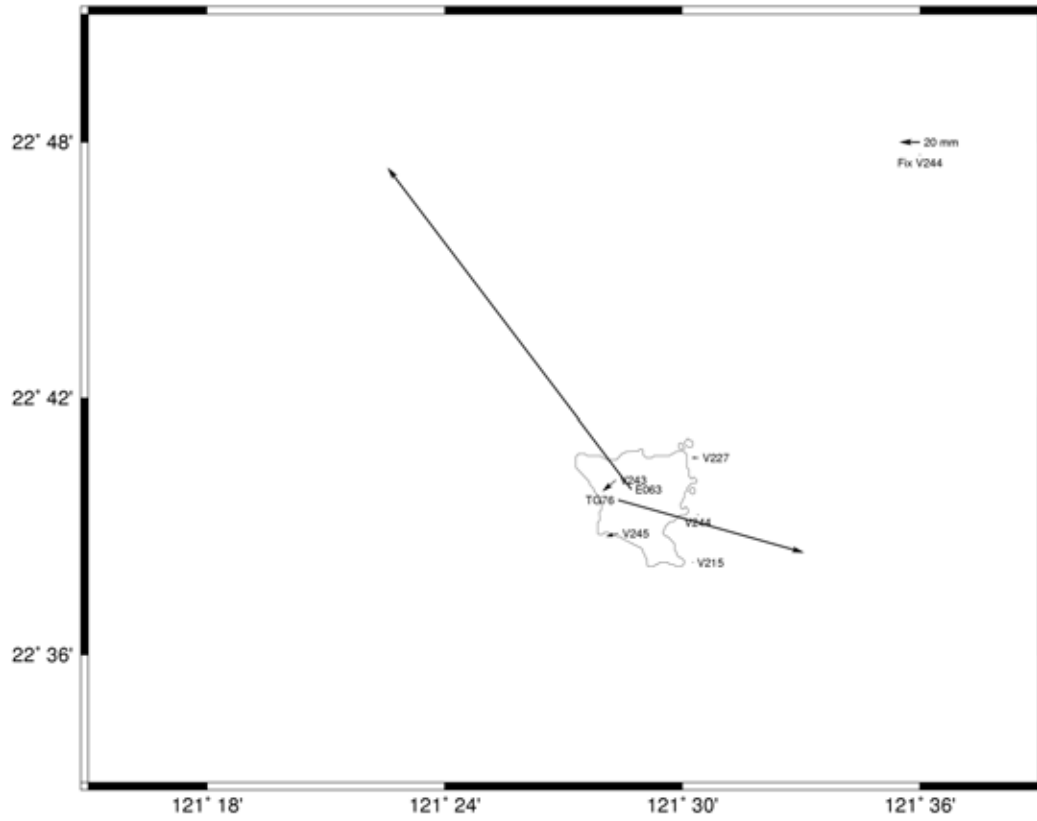


圖 6-12 綠島已知點坐標水平分量較差圖

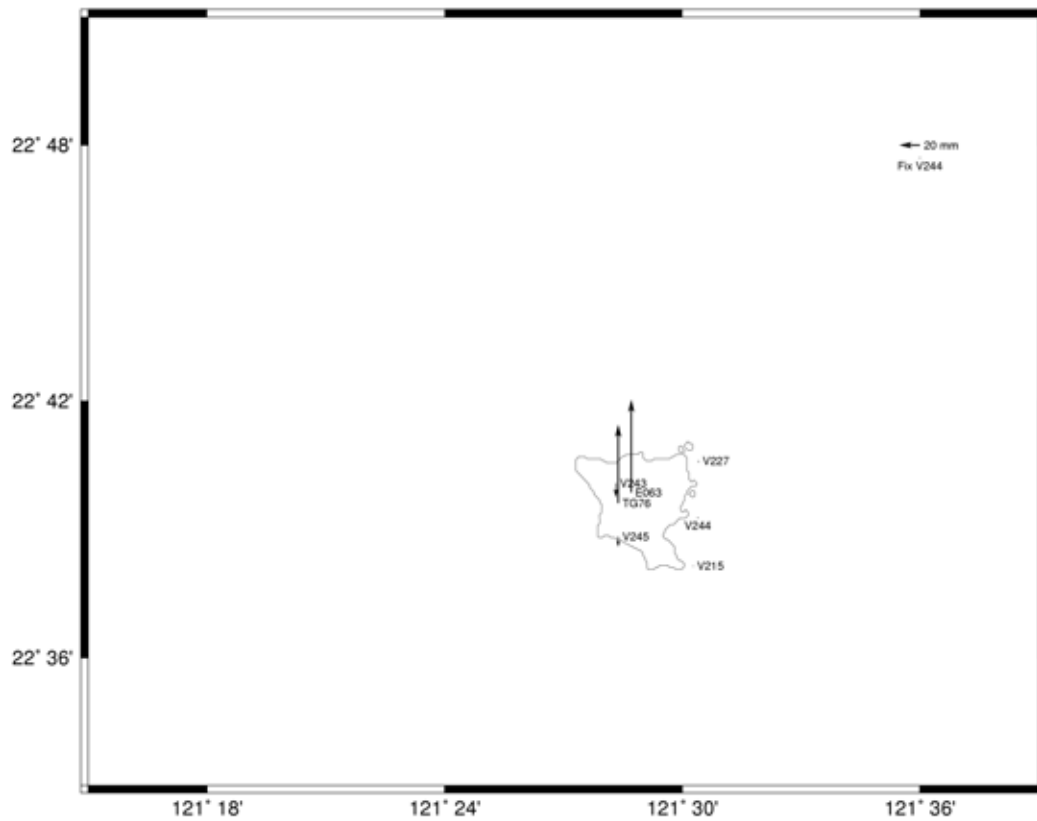


圖 6-13 綠島已知點坐標垂直分量較差圖

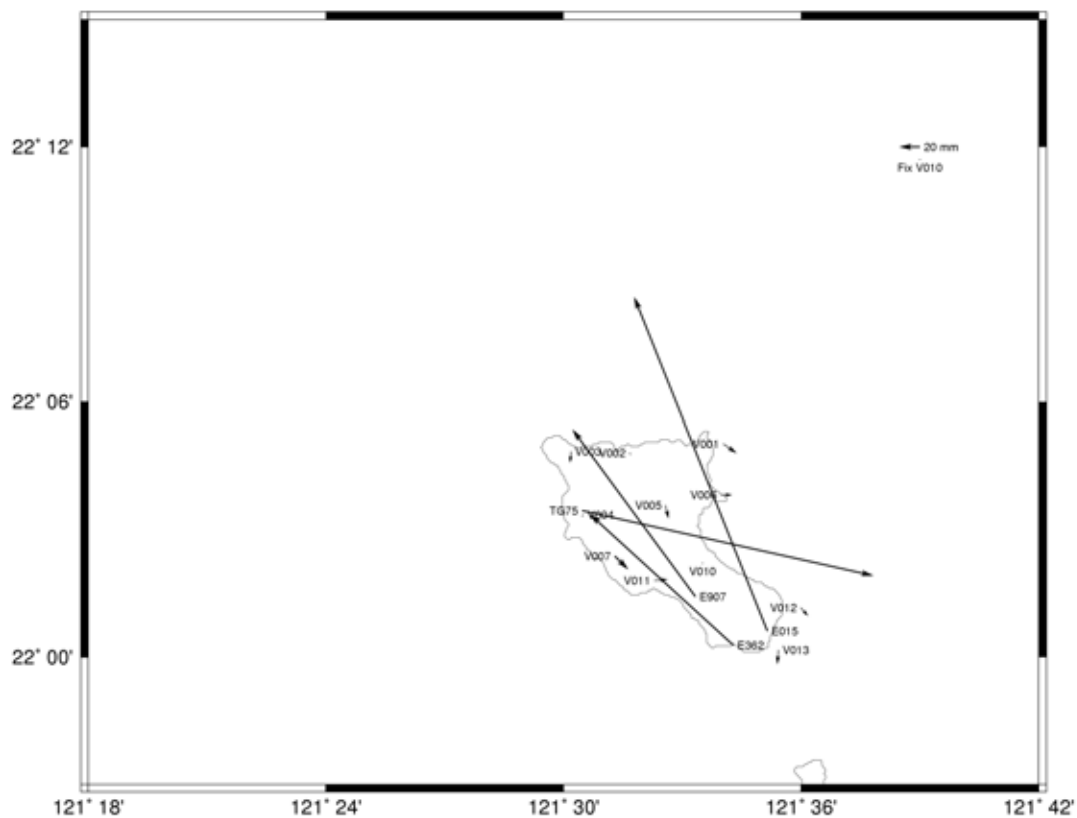


圖 6-14 蘭嶼已知點坐標水平分量較差圖

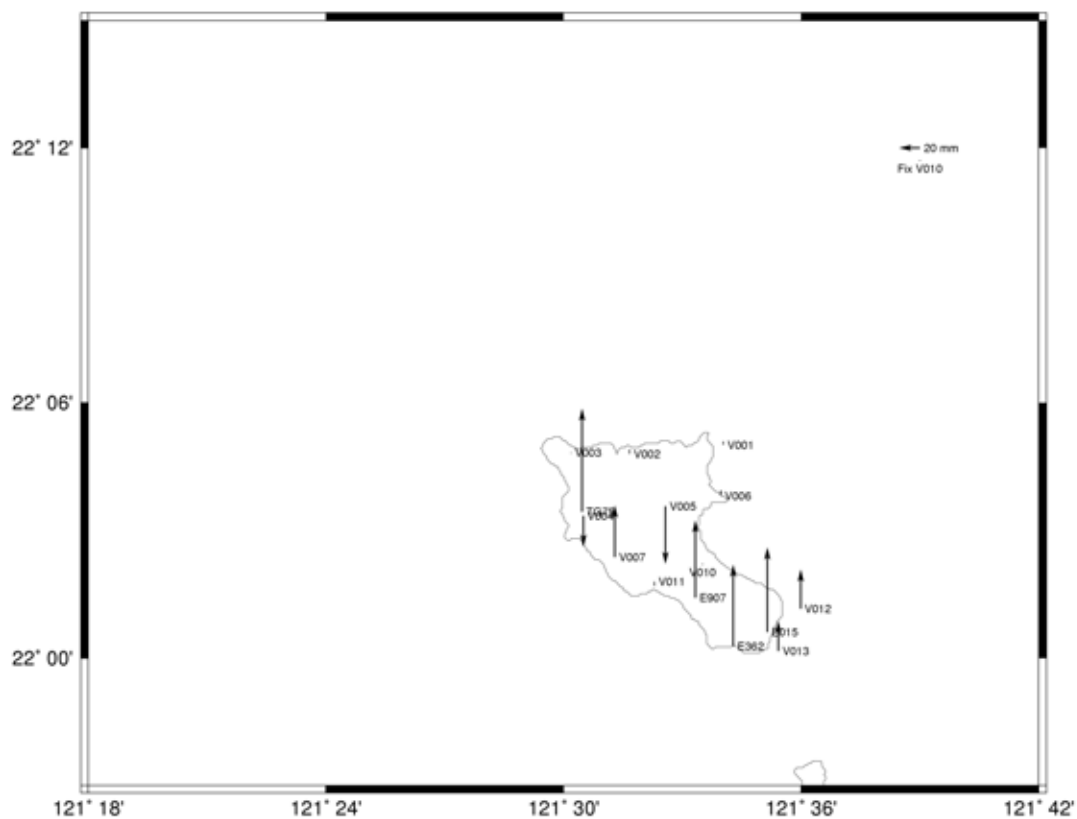


圖 6-15 蘭嶼已知點坐標垂直分量較差圖

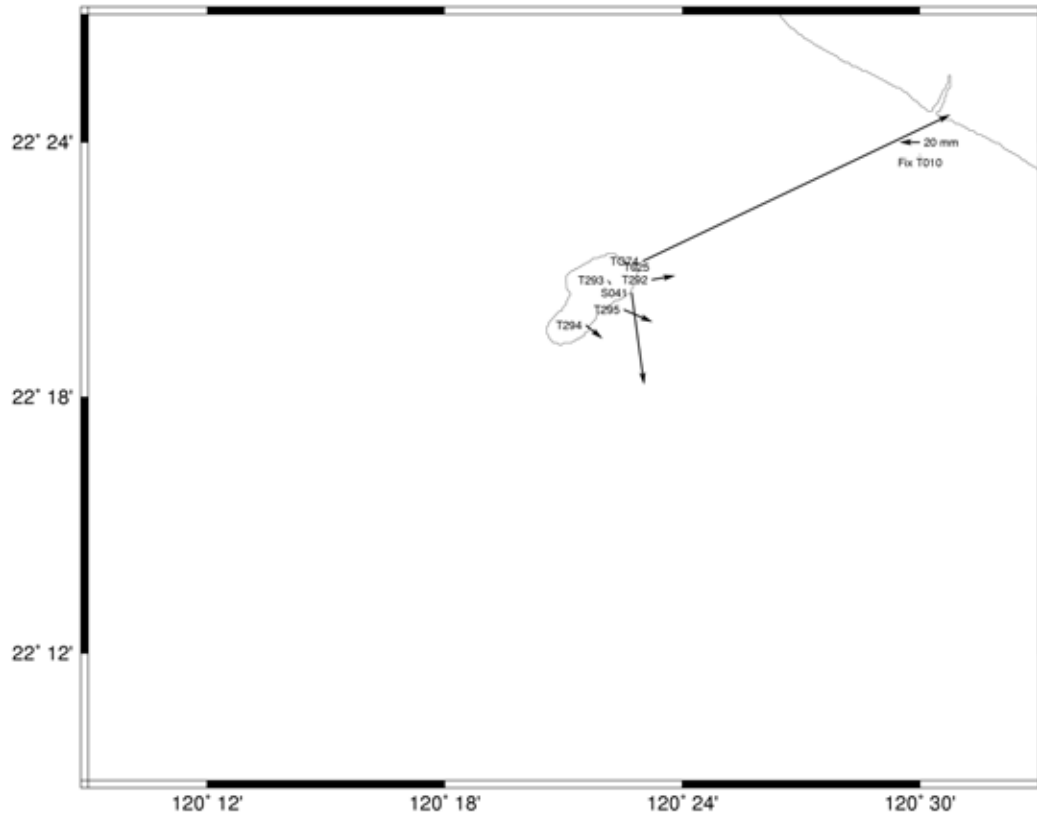


圖 6-16 小琉球已知點坐標水平分量較差圖

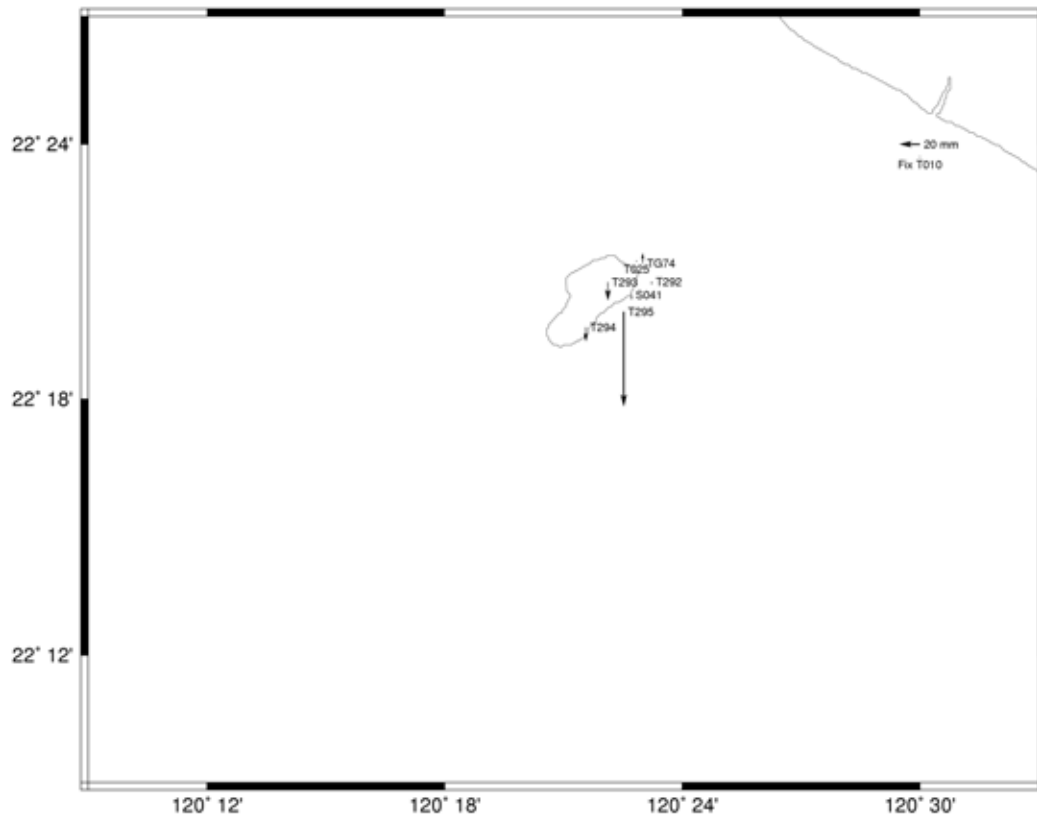


圖 6-17 小琉球已知點坐標垂直分量較差圖

§6-2 TWD97 坐標系統

再進行 TWD97 坐標平差前，我們首先必須了解何謂 TWD97 坐標系統，依照內政部 87 年公布之國家坐標系統「1997 台灣大地基準 (TWD 97)」，其設立之相關參數如下：

1997 台灣大地基準 (TWD97)，其建構係採用國際地球參考框架 (International Terrestrial Reference Frame 簡稱為 ITRF)。ITRF 為利用全球測站網之觀測資料成果推算所得之地心坐標系統，其方位採國際時間局 (Bureau International de l'Heure 簡稱為 BIH) 定義在 1984.0 時刻之方位。

國家坐標系統之參考橢球體採用 1980 年國際大地測量學與地球物理學協會 (International Union of Geodesy and geophysics 簡稱為 IUGG) 公布之參考橢球體 (GRS80)，其橢球參數如下：

長半徑	$a=6378137$ 公尺
扁率	$f=1/298.257222101$

台灣、琉球嶼、綠島、蘭嶼及龜山島等地區之投影方式採用橫麥卡托投影經差二度分帶，其中中央子午線為東經 121 度，投影原點向西平移 250,000 公尺，中央子午線尺度比為 0.9999；另澎湖、金門及馬祖等地區之投影方式，亦採用橫麥卡托投影經差二度分帶，其中中央子午線定於東經 119 度，投影原點向西平移 250,000 公尺，中央子午線尺度比為 0.9999；在東沙地區之投影方式，亦採用橫麥卡托投影經差二度分帶，其中中央子午線定於東經 117 度，投影原點向西平移 250,000 公尺，中央子午線尺度比為 0.9999；在南沙地區之投影方式，亦採用橫麥卡托投影經差二度分帶，其中中央子午線定於東經 115 度，投影原點向西平移 250,000 公尺，中央子午線尺度比為 0.9999。

因此在進行約制網平差時，僅需約制已知控制點之經、緯度、高程值約制後即可得到其他點位之 TWD 97 之經、緯度及高程，至於坐標投影方面，在澎湖、七美、望安、金門等五區其中央子午線定於東經 119 度，至於綠島、蘭嶼及小琉球等三區其中央子午線則定於東經 121 度。

§6-3 TWD97 坐標平差策略

加密網點位的絕對精度依附於上級已知點位的絕對精度，並不會隨著加密測量的觀測精度之提昇而獲得改善；反之，由於新設加密點位間距較已知點位間距為小，所得相對精度可隨觀測量精度得到某一幅度的提昇。就一般測量作業規範而言，上級控制點是為因應次級應用測量的共同依據標準而布設，只要證明點位沒有變動，就必須採用強制套合方式處理。然而隨著觀測儀器方法與品質的進步，計算工具的方便性，且檢測的品質標準隨角度、距離、坐標等不同的檢測方式而異，其間沒有絕對性的標準。

雖然檢測的方式不同，但目的只有一個，只要符合其中任何一項準則，則幾乎可以證明點位沒有變動。至於加密網測量本身雖可獲得具體的品質指標，如點位精度的相對與絕對誤差橢圓大小及觀測量可靠度等，但實際執行時常受限於觀測量權的賦予，而權的賦予本身具有相當強主觀認定，從而失去了對全盤網系查考的周延性及判定的客觀性。

因此，於加密網系平差的方式我們採取高斯（Gauss）的最小二乘法平差計算，因為個別的 GPS 基線向量計算是最小二乘法平差的產物，網系平差則是將各時段測量的基線成果，像拼圖般套合成一個網系，以產生最後的測量成果，所以網系平差的工具須能提供發現與解決問題的能力。

理論上進行網形平差時，為了能充分反應控制點位較真實的坐標精度。因此，採用框架網平差的觀念，並不將已知控制點的坐標固定不動，而將各點坐標賦予適當的權值，以減低網形張力的影響，一般而言，均以點位坐標的標準偏差作為其先驗精度，以利平差後充分反應新點的平差結果。

但實際進行時，因為各級已知點位的來源不同，最初計算成果的方式亦不同，對於其點位的標準偏差可能已失真，我們亦無法評估每個已知點該如何單獨賦予其先驗精度，因此對所有已知點位的坐標僅能賦予相對等量的權，方利於後續的平差計算。故於平差後所計算出的點位標準偏差，也僅能提供參考使用。

§6-4 TWD97 坐標平差流程

依照前述擬定的平差策略，本次計畫進行 TWD97 坐標平差流程如圖 6-18，而平差過程的做法如后所述。

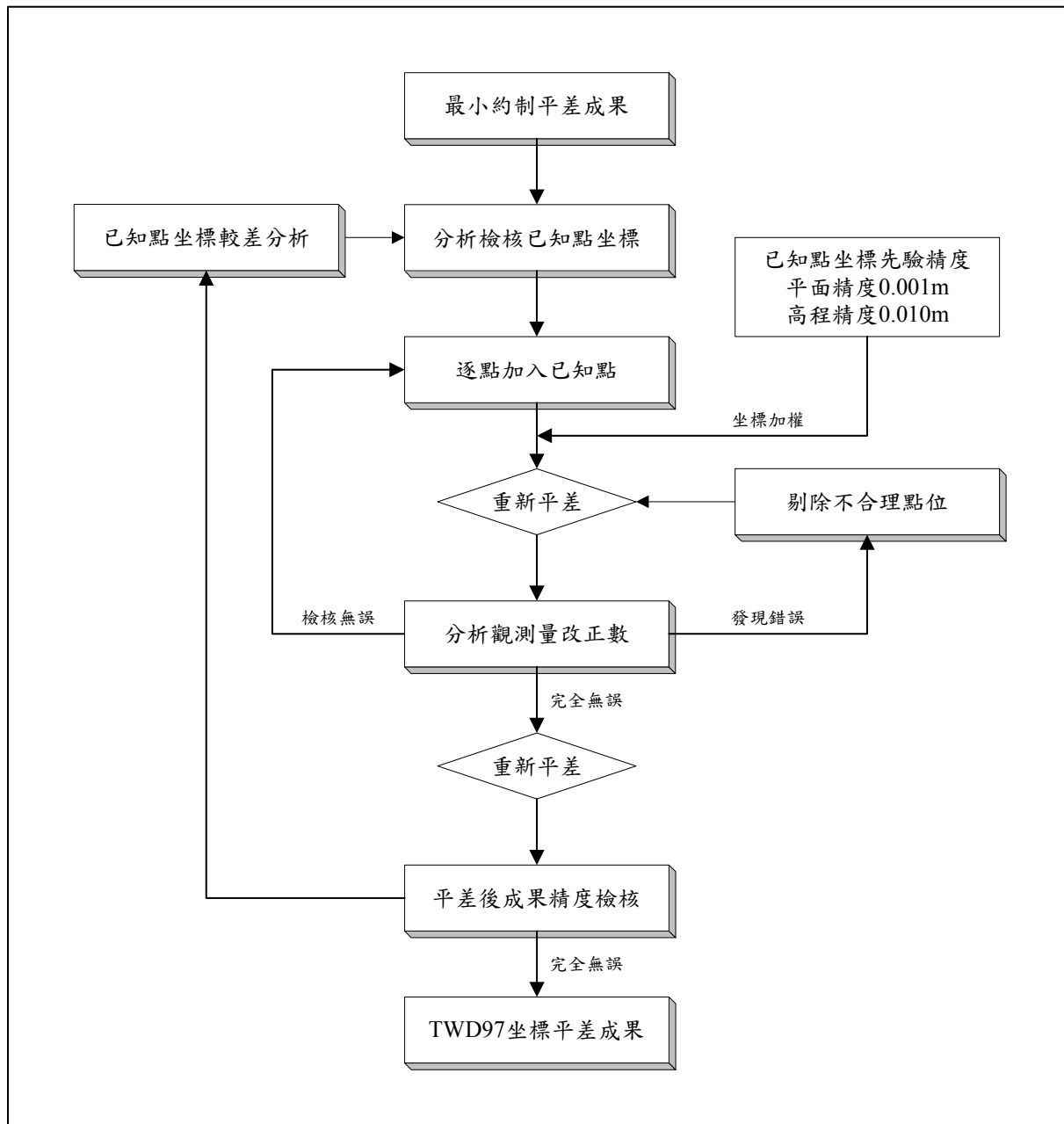


圖 6-18 TWD97 坐標平差流程圖

§6-5 TWD97 坐標平差方法

依照圖 6-18 的流程為能達到上述平差的成果，因此已知點坐標賦予相同等級的先驗精度，因此，在實際的作法上，針對一、二等衛星控制點及三等控制點，我們在平面坐標先驗精度給予 10^{-3}m ，橢球高則給予 10^{-2}m ，以儘量符合已知點當初施測的精度。

而在前述已知點坐標較差分析的成果中，部分點位的坐標差異量明顯過大（平面坐標大於 0.10m ，橢球高差大於 0.50m ），此時於平差過程中並不再嘗試予以約制，對於這些點位直接視為與新設水準點相同，以避免增加後續平差上的困擾。

經過上述權的賦予後，我們重新進行平差後，分析所有的已知點坐標變異量，並根據以往計算內政部一等水準點坐標時，已知一二等衛星控制點檢核標準（內政部 2003），將點位約制後，若已知點縱、橫坐標差大於 0.03m ，橢球高差大於 0.09m 時則予以剔除，視為新點，再重新進行平差，如此反覆上述步驟，直至平差成果無誤為止。

而在平差過程中，除需對約制點位檢視其三維坐標差外，對於觀測量改正數的變化亦需加以考量，因為在經過最小約制平差後，每一個觀測量應當是正確無誤的，若是約制某一點位其坐標隱含相當大的誤差，此時會反應到與其相關之觀測量上，此時便需慎重考量點位約制是否正確。

另外需注意若是平面坐標能符合所需，而橢球高差無法達到前述要求時，則對該點之橢球高不予約制，但若平差後點位橢球高能符合所需，但平面坐標無法符合要求，則該點坐標完全剔除，因為若是已知點位置已有變動，則其橢球高於平差中已不具意義了。

§6-6 TWD97 坐標平差成果精度檢核

經由前述方法與步驟後，我們可以得到一初步的 TWD97 坐標平差成果，在我們確立最後成果之前，需對平差後的結果是否符合我們的需求，而到底成果的精度是否符合所需呢？我們必先探討本次計畫整個作業的內容與相關規範的需求。

本次計畫在作業過程中，完成依照內政部訂定的二等衛星控制點作業規範進行，理論上最後的平差成果應能達到二等衛星控制點的精度要求，但在作業中已知點的部份加入了三等控制點，此時變降低了最後約制平差成果的精度，因為我們雖進行至最小約制平差後，其成果尚能符合二等衛星控制點的精度，但由於已知點的坐標大部份僅達三等控制點的精度，因此最後經約制平差後成果亦僅能達到三等控制點的精度了。

另外，以內政部當初設立一等水準點之初衷，本就要求其成果能符合三等控制點的精度，不論是一等一級水準點或一等二級水準點，其成果均是如此，因此，本計畫中最後成果之確立，應是比照前述兩岸，以符合三等控制點的精度為首要目標。

因此，我們將前述初步的 TWD97 坐標成果進行檢核，以其坐標反算之基線長與實測基線長進行比較，其較差是否符合三等控制點要求之 $30\text{mm}+6\text{ppm}$ 的要求，依此方法八個區的比較成果如圖 6-19~圖 6-26。

依照圖 6-19~圖 6-26 所示，顯示平差後的成果大致均能符合當初預設之三等控制點的精度，對於平差計算的過程應是正確無誤。但其中對於馬祖的 Z042 及小硫球的 S041 等二個點而言，本次檢測的成果偏差稍大，但又無明確的資料顯示其點位可能遭到移動，考量 貴局於布設該地區之三等控制點時，該二點均予約制，因此於本案中，仍比照進行約制，故平差後的基線精度檢核成果，部分基線便無法通過其較差標準的要求了。

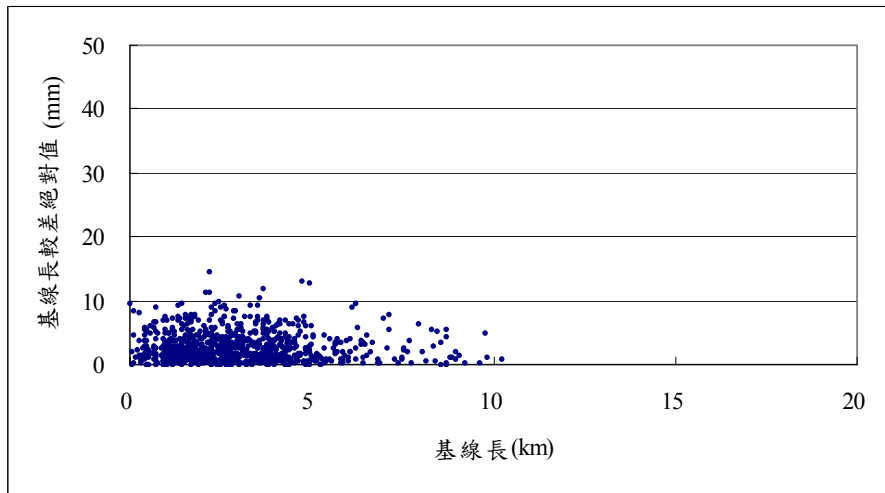


圖 6-19 澎湖實測與 TWD97 坐標平差後基線長較差分布圖

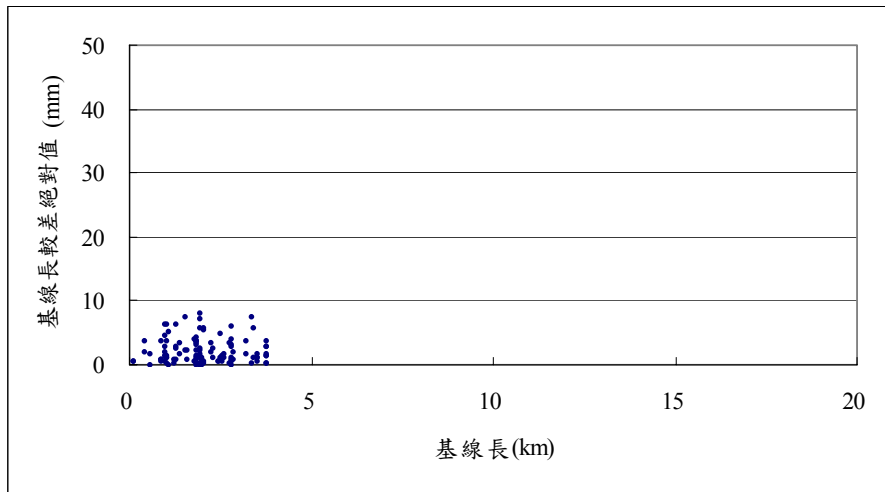


圖 6-20 七美實測與 TWD97 坐標平差後基線長較差分布圖

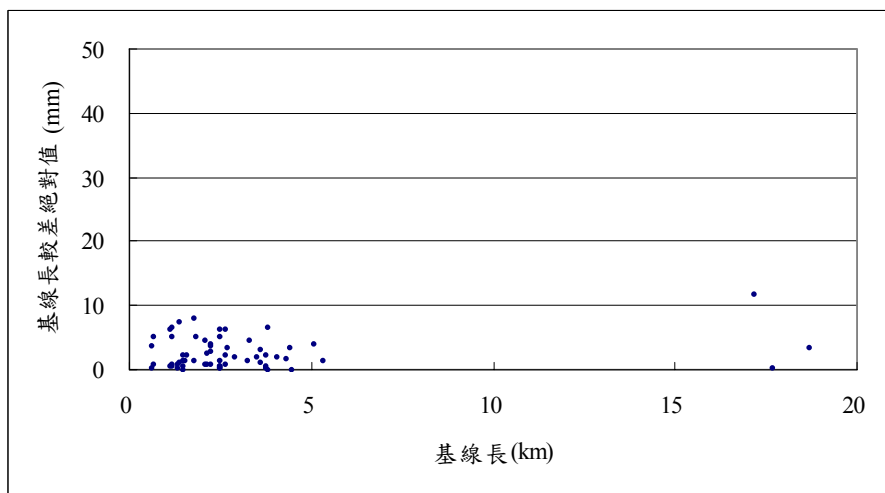


圖 6-21 望安實測與 TWD97 坐標平差後基線長較差分布圖

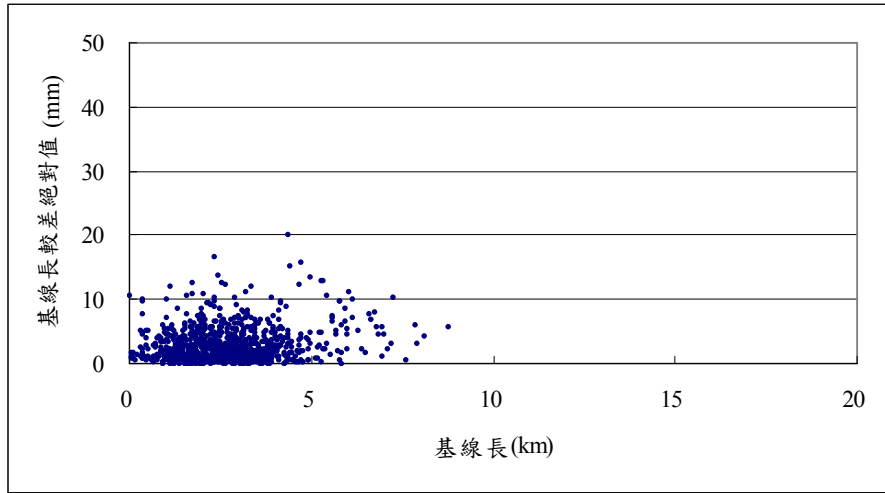


圖 6-22 金門實測與 TWD97 坐標平差後基線長較差分布圖

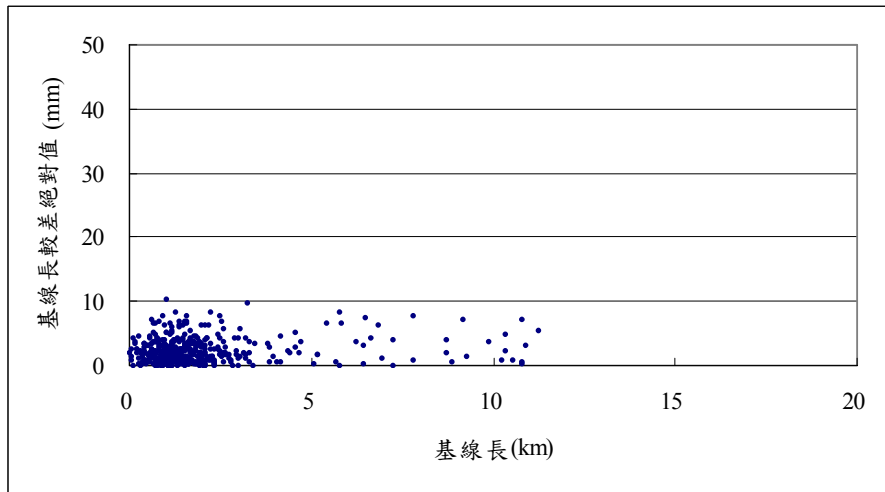


圖 6-23 馬祖實測與 TWD97 坐標平差後基線長較差分布圖

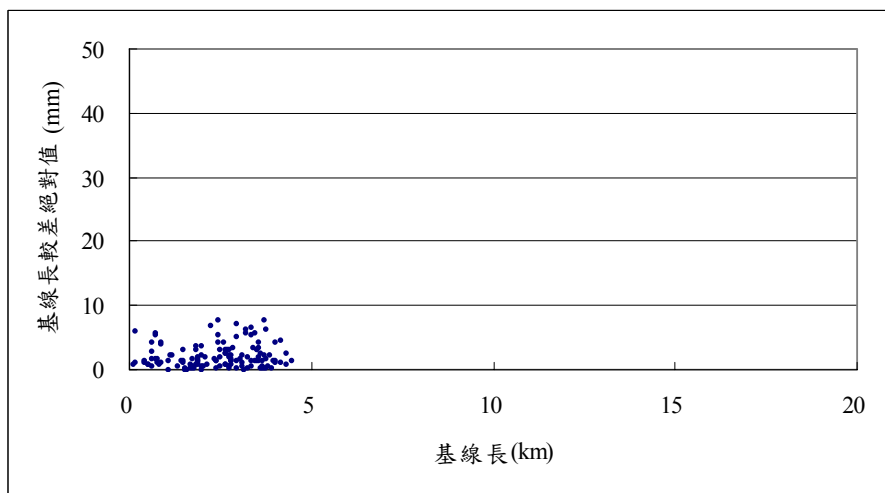


圖 6-24 綠島實測與 TWD97 坐標平差後基線長較差分布圖

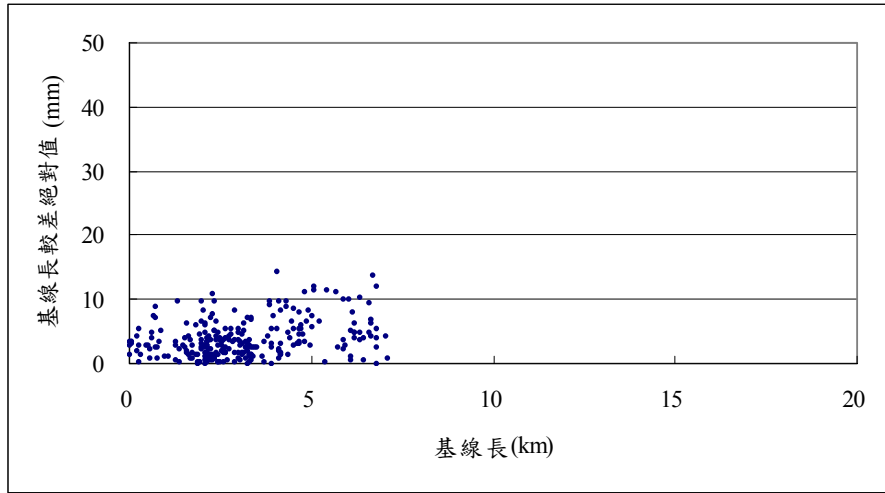


圖 6-25 蘭嶼實測與 TWD97 坐標平差後基線長較差分布圖

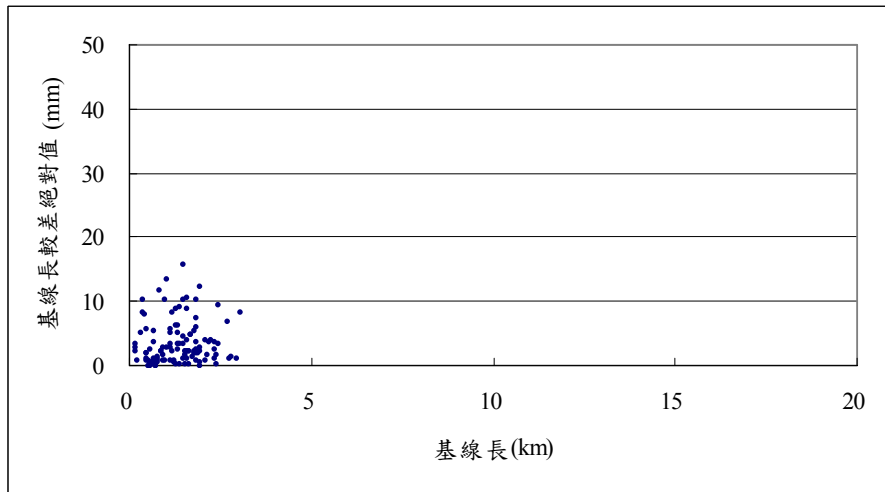


圖 6-26 小琉球實測與 TWD97 坐標平差後基線長較差分布圖

§6-7 TWD97 坐標平差成果統計

§6-7-1 平差成果統計

經由前述方法執行後，我們得到最終之TWD97 平差成果，其相關統計成果如表 6-1；而由此得到之平差成果，仍無法通過在 95%的信心區間內的卡方 (χ^2 , chisquare) 測試，但此時我們並不在比照最小約制平差時將觀測量進行調權，原因在於最小約制平差時，我們已賦予觀測量較符合實際的精度，若於此時再次調整，並不具有實際的意義了。

表 6-1 TWD97 坐標平差成果統計表

區域	約制點數	計算點數	後驗權單位中誤差
澎湖	57	101	1.560
七美	5	11	1.329
望安	6	10	1.602
金門	47	99	1.395
馬祖	28	50	1.525
綠島	5	17	1.160
蘭嶼	11	33	1.215
小琉球	5	16	1.732

註：先驗權單位中誤差為 1.000。

另外，對於平差後點位坐標的標準偏差而言，由於先前在約制已知點坐標時，已給予我們人為預估的精度，故無法真實反應由已知點坐標所傳遞下來的誤差，因此對於此次平差成果所得知點位標準偏差，應僅能供參考使用。

§6-7-2 未固定已知點分析

於 TWD97 平差過程中，除七美、望安及小琉球等三個區域外，其餘六個區域均有已知點因未達檢測規範，坐標不予固定，其未固定已知點的作業區與點位如表 6-2：

表 6-2 未固定已知點一覽表

區域	點名	點號	等級	備註
澎湖	澎湖	TG73	潮位站水準點	
	埔頂	X057	三等控制點	未約制橢球高
金門	金門追蹤站副點 A	KMNA	二等衛星控制點	
	金門	TG72	潮位站水準點	
	何浦	WX16	三等控制點	
	湖下	WX35	三等控制點	
馬祖	馬祖	TG71	潮位站水準點	
綠島	綠島	E063	一等衛星控制點	
	綠島	TG76	潮位站水準點	
蘭嶼	大森山	E015	一等衛星控制點	
	蘭嶼	E362	二等衛星控制點	
	紅頭村	E907	二等衛星控制點	
	蘭嶼	TG75	潮位站水準點	
小琉球	小琉球	TG74	潮位站水準點	

表 6-2 中僅澎湖之 X057 未約制橢球高，其餘點位三維坐標均不固定，茲就其未固定之原因，而詳細說明如后。

1. 各離島之潮位站水準點：舉凡有設立潮位站水準點的區域，其潮位站水準點均未固定，而查證相關資料，發現當初潮位站水準點測設時，其點位坐標附合於七個衛星追蹤站上（金門、馬祖、陽明山、北港、墾丁、鳳林及太麻里），而這些追蹤站除金門、馬祖、陽明山等三處位於地殼變動較小之區域，其餘均有量級不小的變化，久未更新坐標之後，雖然潮位站水準點測設日期（2003 年）與本次計畫相距並不甚久，但附合至追蹤站上所得之坐標自與其他點位未能相符，故遭剔除。

2. 蘭嶼、綠島的衛星控制點：這些點位包含綠島之 E063，蘭嶼之 E015、E362 及 E907 等，因為這些點位坐標於 87 年所公告，而於內政部土地測量局 92 年度測設三等控制點時，已將這些點位剔除不予固定，爾後並無較新之檢測成果之下，其與 92 年度所測設之三等控制點間的坐標自然有相當的差異，自無法固定其坐標應屬合理。
3. 金門追蹤站副點：對金門的追蹤站副點 KMNA 來說，由於計畫執行過程中，內政部將原點重新埋設，故與原公告坐標不符當屬合理。
4. 金門三等控制點：對金門的三等控制點 WX16 及 WX35 等而言，其點位坐標變動甚大，我們研判點位應是遭到人為移動之影響。
5. 澎湖三等控制點：對澎湖本島的三等控制點 X057，由於僅橢球高未能固定，因此我們研判有可能是當初測設時高度量度錯誤，或是點位所在地域遭人為變動。
6. 至於馬祖之 Z042 與金門之 WX16 及 WX35 等三點而言，其點位坐標變動甚大，應是點位遭到人為移動之影響。

第七章 結論與建議

§7-1 結論

內政部土地測量局此次委託辦理「九十三年度離島一等水準點埋設及其水準、衛星定位、重力測量工作」，中興測量有限公司實際執行期間自九十三年七月十二日至九十四年四月十四日；計畫進行期間，承蒙 貴局諸位長官及委員們不吝指導，社會各界悉心協助，以及公司全體同仁協力合作下，終能圓滿完成工作，達到預期之目標。

總計在執行本次計畫中，共達成下列的幾項成果：

1. 離島地區因交通不便，建設落後，以致影響離島地區之產業發展與居民生活品質。因此政府為加強推動離島之開發建設，特頒布離島建設條例：將交通建設、民生設施列為重大建設，但離島四面臨海，其中海平面的消長，對港口建設、水利設施、船隻安全影響甚鉅。因此，離島地區亟需建立高精度之高程控制系統，以提昇居民生活品質，縮短與台灣本島之落差。本次順利建立離島地區高程、平面及重力三合一之控制系統，使離島之基本控制點系統完備，除可使各界充分應用外，並完善建立離島建設之基礎。
2. 本島與離島間因海峽阻隔，彼此間無法取得一致性的控制系統，透過衛星定位測量 24 小時觀測網的施測，使離島之控制點系統與本島能建立於一致基礎上，對後續在各項學術研究發展，產生相當的助益。

§7-2 討論與建議

而在執行本計畫過程中所遭遇或是發現的問題，在此提供一些討論與建議，以作為後續相關案件執行時的參考。

1. 本次平差成果計算中，對於變動區域較大之綠島、蘭嶼地區，主要以三等控制點為依據，因一、二等衛星控制點檢測年代已久，已累積數十公分的差異量，故平差中較不予考量。
2. 潮位站水準點，其坐標當初附合在衛星追蹤站上，但由於內政部衛星追蹤站間已存在不一致性，因此明顯與當地之控制點系統不合（衛星控制點及三等控制點），因此於 TWD97 平差中均予以剔除。
3. 不同等級間的控制點，因時空（檢測時間不同）、環境（受板塊運動影響不一）的影響，所存在的不一致性是必然的，考量現實的情況下，並無法一次進行全面性的檢測，因此，如何賦予每一個點位的坐標，使不同的使用者能根據需求而使用，為政府相關部門所需加以謹慎考慮。

參考文獻

- 內政部，應用全球定位系統實施台閩地區基本控制點測量計畫總報告，1998。
- 內政部，八十八年度一等衛星控制點檢測工作報告，2000。
- 內政部，一等水準點上實施衛星定位測量工作報告，2001。
- 內政部，九十一年度一等水準點上實施衛星定位測量工作報告，2003。
- 內政部，離島潮位站資料蒐集及分析工作總報告書，2003。
- 內政部土地測量局，九十年度高雄市、高雄縣西半部、屏東縣西半部及澎湖縣地區三等控制點補建、新建委外測量案工作報告，2002。
- 內政部土地測量局，九十一年度福建省金門縣及連江縣三等控制點補建、新建作業工作報告書，2003。
- 內政部土地測量局，九十二年度高雄縣東半部、屏東縣東半部及台東縣地區三等控制點補建、新建委外測量工作報告，2004。
- 尹鍾奇，實用大地測量學，1976。
- 陶本藻，自由網平差與變形分析，測繪出版社，1982。
- 胡明城、魯福，現代大地測量學，測繪出版社，1993。
- 曾清涼、儲慶美，GPS 衛星測量原理與應用，國立成功大學衛星資訊研究中心，1999。
- 李德仁、袁修孝，誤差處理與可靠性理論，武漢大學出版社，2002。
- Heiskanen, W.A. and H. Moritz, Physical Geodesy, Freeman Co., San Francisco, London, 1967.
- Mikhail, E.M. and Gracie, G., Analysis and adjustment of survey measurements, Van Nostrand Reinhold Company Inc., New York, 1981.
- Yu, S. B., Chen, H. Y., and Kuo, L. C., Velocity field of GPS stations in the Taiwan area: Tectonophysics, v.274, p. 41-59, 1997.

附件一 最小約制平差後已知點坐標較差表

澎湖地區 (1/2)

點名	點號	縱坐標差 (m)	縱坐標差 (m)	橢球高差 (m)	備註
南寮	F015	-0.008	-0.028	-0.007	
中屯	F020	-0.002	-0.022	-0.021	
大池角	F135	-0.012	-0.015	-0.061	
二嵌	F146	0.004	-0.019	-0.008	
小池角	F147	0.002	-0.029	-0.015	
馬公	F245	-0.007	-0.006	0.052	
豬母水	F295	-0.001	-0.015	0.008	
隘門	F297	-0.012	-0.019	-0.026	
大石鼻	F336	-0.008	-0.026	0.006	
占山	F338	0.001	-0.041	-0.003	
港仔尾	F796	-0.001	-0.024	-0.001	
竹蒿灣	F880	-0.001	-0.022	-0.007	
豬母水山	F888	-0.001	-0.020	-0.030	
紗帽山	S031	0.000	0.000	0.000	約制點
鼎灣	S333	0.005	-0.023	-0.023	
上瓦碇	S334	-0.006	-0.027	-0.013	
鎖管港	S360	0.005	-0.023	-0.059	
良文	S401	-0.006	-0.023	-0.007	
大城北	S561	0.005	-0.020	0.003	
橫礁	S918	-0.005	-0.037	-0.034	
虎頭山	S919	-0.006	-0.024	0.027	
澎湖	TG73	0.043	-0.097	-0.031	
觀音亭	X001	0.005	-0.017	-0.016	
風櫃	X002	0.004	-0.014	-0.017	
赤崁	X004	-0.011	-0.027	-0.026	
后螺	X005	0.003	-0.021	-0.039	
白馬崎	X006	0.010	-0.037	-0.071	
岐頭	X009	-0.002	-0.037	-0.025	
東石	X010	0.006	-0.028	0.002	
大井腳	X013	0.003	-0.030	-0.035	

澎湖地區 (2/2)

點名	點號	縱坐標差 (m)	縱坐標差 (m)	橢球高差 (m)	備註
大赤嶺	X014	-0.005	-0.020	0.000	
瓦碇	X016	-0.004	-0.028	-0.029	
通梁	X017	-0.002	-0.017	-0.033	
石碑腳	X019	-0.005	-0.020	0.014	
鎮海	X020	-0.004	-0.025	-0.005	
白坑	X022	-0.001	-0.025	0.011	
中西	X024	0.003	-0.028	0.018	
大池角	X025	-0.001	-0.022	0.008	
池東	X026	0.002	-0.024	0.022	
林投	X028	0.002	-0.025	0.023	
武城	X029	-0.003	-0.023	-0.030	
赤馬	X030	0.003	-0.020	-0.013	
內垵	X031	-0.009	-0.030	-0.066	
石泉	X032	-0.015	-0.007	-0.004	
興仁	X033	-0.003	-0.020	0.002	
良文港	X034	0.003	-0.011	0.034	
後烏	X036	-0.007	-0.019	-0.043	
井垵	X038	-0.003	-0.016	-0.025	
後扈灣	X051	-0.002	-0.035	-0.036	
湖西	X053	-0.009	-0.031	0.030	
中井	X054	-0.007	-0.032	-0.042	
大崎頭	X055	0.003	-0.032	-0.061	
埔頂	X057	-0.004	-0.021	0.265	未約制橢球高
尖山	X058	-0.003	-0.012	0.003	
五德	X060	0.003	-0.020	0.002	
富貴尾	X061	0.002	-0.020	-0.017	
外垵山	X063	-0.002	-0.014	-0.093	
風坑	X064	-0.016	-0.035	-0.079	

金門地區 (1/2)

點名	點號	縱坐標差 (m)	縱坐標差 (m)	橢球高差 (m)	備註
金門衛星追蹤站副點 A	KMNA	11.218	-21.839	-1.506	新點重埋
金門衛星追蹤站	KMNM	-0.002	0.000	0.000	約制點
金門	TG72	0.056	-0.081	0.111	未固定
料羅	W091	-0.004	0.016	0.074	
麒麟山	W092	-0.017	-0.009	0.003	
梁山	W901	-0.003	0.015	0.054	
慈湖	W902	-0.008	0.008	0.056	
砂溪	W903	-0.011	-0.024	0.005	
面前山	W904	-0.008	0.015	0.054	
林務所	WX05	0.006	0.016	0.071	
中山林	WX06	0.016	0.007	0.079	
五龍山	WX08	0.011	0.018	0.063	
三獅山	WX09	0.007	0.020	0.057	
新青嶼	WX10	0.011	0.016	0.090	
山后	WX11	0.006	0.009	0.106	
後浦頭	WX13	0.013	0.010	0.060	
營山	WX14	0.017	0.016	0.097	
浦邊	WX15	0.011	0.016	0.074	
何浦	WX16	-0.153	-0.123	0.298	未固定
屏東	WX17	0.009	0.014	0.017	
海印寺	WX18	0.010	0.006	0.064	
田浦	WX19	0.010	0.013	0.065	
后沙	WX20	0.014	0.010	0.059	
南太武山	WX21	0.015	0.011	0.038	
安民	WX22	0.007	0.011	0.091	
農試所	WX23	0.014	0.007	0.061	
新復國墩	WX24	0.012	0.015	0.054	
下峰	WX25	0.003	0.027	0.051	
白龍潭	WX26	0.007	0.018	0.080	
碼頭	WX27	0.005	0.014	0.050	

金門地區 (2/2)

點名	點號	縱坐標差 (m)	縱坐標差 (m)	橢球高差 (m)	備註
漁村	WX28	0.011	0.014	0.072	
夏興	WX29	0.012	0.012	0.056	
尚義機場	WX30	0.012	0.013	0.064	
前山門	WX31	0.010	0.014	0.060	
沙崗	WX33	0.009	0.012	0.085	
古寧頭	WX34	0.008	0.003	0.087	
湖下	WX35	2.066	2.294	0.051	未固定
湖南	WX36	0.009	0.016	0.057	
榜林	WX37	0.002	0.013	0.091	
金中	WX38	0.001	0.006	0.062	
鄭王祠	WX39	-0.002	0.005	0.058	
後垵	WX40	-0.001	0.009	0.043	
后湖	WX41	0.009	0.003	0.039	
歐厝	WX42	0.001	0.004	0.079	
水頭	WX44	-0.001	0.004	0.047	
金門城	WX45	0.000	-0.002	0.051	
九宮碼頭	WX46	-0.010	-0.002	0.028	
西湖	WX48	-0.013	-0.002	0.066	
南塘	WX49	-0.007	-0.010	0.020	
大山頂	WX50	-0.003	0.002	0.027	
地政局	WX51	0.010	0.009	0.071	

馬祖地區 (1/1)

點名	點號	縱坐標差 (m)	縱坐標差 (m)	橢球高差 (m)	備註
馬祖衛星追蹤站副點 A	MZUA	-0.022	0.016	0.035	
馬祖衛星追蹤站	MZUM	0.000	0.000	0.000	約制點
馬祖	TG71	-0.011	-0.075	0.049	未固定
梅石嶺	W090	-0.025	0.010	0.068	
尼姑山	W093	-0.025	0.004	0.064	
板里	W905	-0.027	0.014	0.046	
后沃山	W907	-0.041	0.016	0.045	
北海坑道	Z002	-0.023	0.011	0.057	
橋仔	Z020	-0.021	0.018	0.066	
青山	Z021	-0.026	0.021	0.073	
芹壁二	Z022	-0.031	0.006	0.079	
壁山二	Z023	-0.006	0.011	0.098	
塘歧	Z024	-0.027	0.013	0.075	
100 高地	Z026	-0.025	0.015	0.049	
長坡	Z027	-0.028	0.002	0.071	
芹壁	Z028	-0.026	0.009	0.044	
板里二	Z029	-0.023	0.013	0.034	
西尾	Z031	-0.023	0.011	0.080	
夫人嶺	Z032	-0.022	0.005	0.044	
秋桂山	Z033	-0.020	0.008	0.025	
73 高地	Z034	-0.015	0.005	0.033	
馬港	Z035	-0.018	0.002	0.058	
福澳港	Z036	-0.020	0.005	0.063	
牛背嶺	Z037	-0.021	0.005	0.048	
南竿機場	Z038	-0.021	0.001	0.097	
馬祖高中	Z039	-0.023	0.011	0.067	
枕戈待旦	Z040	-0.019	0.004	0.062	
清水	Z041	-0.024	0.016	0.047	
經國紀念堂	Z042	-0.078	-0.027	0.073	
36 高地	Z044	-0.018	0.003	0.083	

附件二 審查會議結論辦理情形

各委員：

1. 報告書中圖表應清晰、使用彩色表示、並加註標題，且表格之標題應為中文並註明使用單位。
2. 各區之作業時間、預計與實際作業數量應詳加說明。
3. 各章節除說明作業方式外，並應依本案實際作業結果，詳列各項統計圖表。

辦理情形：

1. 已依委員意見調整，圖表以彩色表示則視內容與以更新。
2. 詳本報告第三章。
3. 已依委員意見辦理，詳本報告各章節。

張委員嘉強：

1. 請將各天線盤使用之形式繪圖說明，並註明相關之天線高化算公式。
2. 各地區使最小約制平差之約制點，有衛星追蹤站、一等衛星點及三等控制點，請說明選取的原因。

辦理情形：

1. 詳本報告第 38~39 頁，§4-3。
2. 詳本報告第 55~63 頁，§5-1-3。

劉委員啟清：

1. 工作報告第 42 頁的網形平差流程圖請修正為將一、二、三等控制點同時約制。
2. 工作報告的附件表格中之「高程」統一改為「橢球高」或「幾何高」，以避免誤用。

辦理情形：

1. 已依委員意見修改為第 102 頁，圖 6-18。
2. 報告內文均已統一為「橢球高」。

高委員書屏：

1. 簡報的基線之重複性分析圖中之檢核標準線請詳加註明，並納入工作報告中，且加以文字說明。
2. 簡報中較差圖中表示較差大小之箭頭，請註記其比例。

辦理情形：

1. 已依委員意見加入至報告第 65~72 頁，圖 5-18~圖 5-33。
2. 報告內容之較差大小，均已加註比例。

楊委員名：

1. 請將最小約制平差後所得之基線橢球高差，單獨另以磁性檔方式整理繳交。

辦理情形：

1. 已依委員意見燒錄磁性檔於工作報告光碟內。

李委員彥弘：

1. 實際基線計算之處理結果請詳細說明，例如基線剔除率、Ratio 值、使用時間等訊息。
2. 請釐清報告中之權與標準偏差、變異量與坐標差之分別。

辦理情形：

1. 詳本報告第 45 頁，§4-5-3。
2. 詳本報告內文。

王委員成機：

1. 各地區之約制點位請於工作報告中列表說明。
2. 約制平差後，由附件四未知點之標準偏差太小(約 0.002m)，請說明清楚。

辦理情形：

1. 詳本報告第 55 頁，表 5-1。
2. 詳本報告第 108 頁，§6-7-1。

劉委員至忠：

1. 已知控制點於約制平差中不固定其坐標之標準為何，請說明清楚。

辦理情形：

1. 詳本報告第 109~110 頁，§6-7-2。

高程控制課：

1. 第五章網形平差之基線剔除率，剔除基線是否有再進行基線計算。
2. 第 5-2 節基線重複性分析，請補充各區重複基線率。
3. 行前作業講習請補充說明。

辦理情形：

1. 由於本次計畫基線剔除率甚低，已高於一般水平甚多，故未解算成功之基線不另重新計算。
2. 詳本報告第 64 頁，表 5-2。
3. 詳本報告第 12 頁，§2-4-3。